

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

BADJI MOKHTAR-ANNABA UNIVERSITY  
UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR-ANNABA



Année 2018

Faculté des Sciences de la Terre

Département de Géologie

## **Thèse**

En vue de l'obtention du diplôme de Doctorat en sciences

Option : Hydrogéologie

**Impact de la décharge urbaine de Berka Zerga- Annaba**

**Sur l'environnement et sur le lac Fetzara**

Par

**TOUMI Fayçal**

**Directeur de Thèse : HANI Azzedine** Professeur (U.B.M. Annaba)

**Co-Encadreur de Thèse : DJORFI Saadane** Professeur (U.B.M. Annaba)

### **DEVANT LE JURY**

**Président : CHAFAI Hicham** Professeur (U.B.M. Annaba)

**Examineurs : LABAR Sofiane** Professeur, (Uni. EL TAREF)

**GHERIB Lassad** Maitre de conférences A, (Uni. GUELMA)

**ZENATI Nouredine** Maitre de conférences A, (Uni. Souk AHRAS)

## تأثير المفرغة العمومية البركة الزرقاء على البيئة وعلى بحيرة فتزارة

### ملخص

ان مكب النفايات المتواجد بمدينة عنابة هي احدى المفرغات أين يتم التخلص من النفايات عن طريق الردم الذي يولد راشدات عالية التركيز والغرض من هذه الدراسة هو تقييم الخصائص الفيزيوكيميائية لمياه منطقة الدراسة وتحديد تقييم تأثير النفايات، لهذا تم إجراء التحاليل الفيزيائية والكيميائية على 36 نقطة. هذه التحليلات المعنية هي درجة الحرارة ودرجة والمعادن الثقيلة الحموضة الموصلية (م) صلابة الماء، طلب البيولوجي للأكسجين لمدة 5 أيام والعناصر الكيميائية ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{k}^+$ ) و ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ):

تظهر النتائج التي تم الحصول عليها أن عناصر الحديد والرصاص والنحاس والمنغنيز والنيكل لها تركيزات عالية من المحتمل أن تكون مرتبطة بقربها من المفرغة العمومية أما بالنسبة لامتناس الصوديوم  $\text{Na}^+$  و (SAR)، يشير التقرير إلى أن مياه الآبار تقريباً سيئة للري الكلمات المفتاحية: التفريغ الحضري، الملوحة، العصارة، التسلل، عنابة (الجزائر )

## Impact of urban discharge Berka Zerga on environment and on the lake Fetzara (Annaba, Algeria)

### Abstract

Urban discharge of Annaba is one from landfills where buried garbage by backfill generates high concentration leachate. The objective of this work is the assessment of the physico-chemical water quality in the study area and whether these waters are apt for irrigation. For this, chemical analyzes were carried out on nearly 36 points. These analyzes have concerned the temperature T (° C), conductivity (EC), TDS, pH, TH, DBO<sub>5</sub>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, k<sup>+</sup>, and Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>; and heavy metals (lead, Manganese, Iron, Copper). The results show that the elements iron, lead and Copper Manganese EC, and DBO<sub>5</sub> have high concentrations likely related to the proximity of the landfill.

As for sodium absorption (SAR), the report indicates that almost all of the water wells are bad for irrigation

**Keywords : urban discharge, salinity, leachates, infiltration, Annaba (Algeria)**

# **Impact de la décharge urbaine Berka Zerga Sur l'environnement et sur le lac**

**Fetzara Annaba (Algérie)**

## **Résumé**

La décharge urbaine d'Annaba est l'une des décharges où l'enfouissement des déchets par le remblai génère des lixiviats à forte concentration. L'objectif de ce travail est l'évaluation de la qualité physico-chimique des eaux dans la zone d'étude et de déterminer l'évaluation de l'impact des rejets sur l'environnement.

Pour cela, des analyses physico chimiques ont été réalisés sur 36 points. Ces analyses ont concernées : la température T (°C). la conductivité (CE), le pH, la DBO<sub>5</sub>, le TH, le Mg<sup>++</sup>, le Ca<sup>++</sup>, le Na<sup>+</sup>, le k<sup>+</sup> les Cl<sup>-</sup>, les SO<sub>4</sub><sup>-</sup>, les HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, les NO<sub>2</sub><sup>-</sup> et les métaux lourds (Fer, Cuivre, Manganèse, Nickel, plomb).

Les résultats obtenus montrent que les éléments Fer, plomb, Cuivre, Manganèse, Nickel, CE, présentent des concentrations élevées liées vraisemblablement à la proximité de la décharge.

Quant à l'absorption du sodium (SAR), et le Na<sup>+</sup>% le rapport indique que la quasi-totalité des eaux des puits sont médiocres pour l'irrigation.

Mots clés : *décharge urbaine, salinité, lixiviats, infiltration, Annaba (Algérie)*

## ***Remerciement***

En préambule à cette thèse nous remerciant ALLAH qui nous aide et nous donne la patience et le courage durant ces longues années d'étude.

Nous souhaitant adresser nos remerciements les plus sincères aux personnes qui nous ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de cette thèse.

Ces remerciements vont tout d'abord au corps professoral et administratif de la Faculté des Sciences de la terre, pour la richesse et la qualité de leur enseignement et qui déploient de grands efforts pour assurer à leurs étudiants une formation actualisée.

Nous tenant à remercier sincèrement Monsieur, Azzedine HANI, qui, en tant que Directeurs de thèse, s'est toujours montré à l'écoute et très disponible tout au long de la réalisation de cette thèse, ainsi pour l'inspiration, l'aide et le temps qu'il a bien voulu me consacrer. Et A Monsieur Larbi DJABRI, pour m'avoir épaulé moralement tous les jours dans la construction de cette thèse n'aurait jamais vu le jour.

Je tiens aussi à remercier Monsieur, H. CHAFAI, De m'avoir fait honneur de présider le jury de cette thèse et pour ses précieux conseils et ses discussions scientifiques intéressantes dans le suivi et la réalisation de mes travaux de recherche.

Mes remerciements s'adressent à Monsieur N. ZENATI, enseignant à l'université de SOUK AHRAS, pour avoir accepté d'examiner mon document de thèse et d'avoir apporté son regard sur mon travail.

Je tiens à remercier Monsieur : S. LAABAR, enseignant à l'université D'EL TAREF, d'avoir aimablement accepté d'examiner et de faire partie du jury de cette thèse malgré tous ses engagements et ses nombreuses occupations.

Je tiens à remercier aussi Monsieur LASSAD. GHERIB, enseignant à l'université De Guelma, d'avoir aimablement accepté d'examiner et de faire partie du jury de cette thèse.

J'adresse enfin une pensée spéciale à mes parents pour leur soutien dans mes choix et leur attention sans faille, ainsi qu'à ma bonne-maman, dont les encouragements et l'amour inconditionnel m'accompagnent depuis toujours.

Enfin, Je n'oublie bien évidemment pas mes collègues à l'université de Skikda et les remercie chaleureusement pour tous ces agréables moments passés ensemble.

Merci à tous et à toutes.



# TABLBE DES MATIÈRES

	<b>Page</b>
<b>ملخص</b>	II
<b>Abstract</b>	II
<b>Résumé</b>	III
<b>Remerciement</b>	IV
<b>Tables des matières</b>	V
<b>Liste des tableaux</b>	XII
<b>Liste des figures</b>	XIV
<b>Liste des abréviations</b>	XIX
Introduction générale	1
<b>Première Partie : Caractéristiques physique de la zone d'étude</b>	
<b>CHAPITRE I : SITUATION GEOGRAPHIQUE</b>	
I.1 situation régionale	2
I.2. situation de la zone d'étude	2
<b>CHAPITRE II : GEOMORPHOLOGIE</b>	
II 1 Introduction	4
II. 2. La montagne	4
II. 3. Les sols et le couvert végétal	4
II. 4. Les sols des versants	5
II. 5. Les sols alluvionnaires	5
II. 6. La plaine d'Annaba	6
II. 7. Le Lac Fetzara	6
II.8.Le bassin Côtiers Constantinois Centre	9
II.9. Caractéristiques de sous bassin versant du lac Fetzara	11
II.10. Identification des caractères hydrogéologique DU B. V. DU Berka Zerga	12
II.10.1 Caractéristiques physiques et morpo métriques du bassin versant du Berka Zerga	12
II.10.2. Courbes caractéristiques de la topographie du BVBZ	13
II.10.2.1 Caractéristiques du relief	13
II.10.2.2 Répartition arithmétique de la superficie	14
II.10.2.3 Détermination de la courbe hypsométrique	14

II.10.3 Altitudes caractéristiques	14
II.10.4 Caractéristiques du réseau hydrographique	16
II.10.4.1 Longueur et nombre des thalwegs	17
<b>CHAPITRE III. LA GEOLOGIE DU SITE DE LA DECHARGE PUBLIQUE DE BERKA ZERGA ET DE LA ZONE D'IMPACT</b>	
III.1 Géologie régionale	19
III. 1. 1 Le complexe cristallophyllien	19
III. 1. 2 Subdivision du complexe	19
III. 1. 2. 1 L'unité supérieure	19
III. 1. 2. 2 L'unité intermédiaire	19
III. 1. 2. 3 L'unité de base	23
III. 1. 3 : Les roches ignées	23
III. 1. 3. 1 : Groupe microgranodioritique	23
III. 1. 3. 2 : Groupe rhyolitique	23
III. 1. 4 : Les roches sédimentaires	25
III. 1. 4. 1 : Les flyschs ou grés numidiens ( <i>Oligo-Miocène</i> )	25
III. 1. 4. 2 : Les flyschs sénoniens ( <i>Maestrichtien</i> )	25
III. 1. 5 : La tectonique	25
III. 1. 5 .1 : Accidents tectoniques importants	25
III. 1. 5. 2 : Petites fractures	25
III. 1. 6 : La minéralisation	26
III.2. Géologie locale	26
III. 2. 2 La lithologie des formations géologiques	26
III. 2. 2 .1 Les roches métamorphiques	27
III. 2. 2 .2 Les roches sédimentaires	28
<b>Chapitre IV : HYDROCLIMATOLOGIE</b>	
IV.1. Introduction	32
IV.2 Caractéristiques climatiques	32
IV.2.1 Cadre climatique	32
IV.2.2 Analyse des précipitations	33
IV.2.3. Variations des précipitations dans le temps	35

IV.2.3.1. Variations annuelles	35
IV.2.3.2. Variations moyennes mensuelles	36
IV.2.3.3. Variations des précipitations saisonnières	37
IV.2.4. Analyse des températures	38
IV.2.4.1. Variations moyennes mensuelles	39
IV.2.4.2. Diagrammes ombrothermiques	39
IV.2.5. L'humidité	40
IV.3 Le bilan hydrique	41
IV.3.1. Estimation des paramètres du bilan	42
IV.3.1.1. L'évaporation/l'évapotranspiration	42
IV.3.1.2. Evapotranspiration potentielle (ETP)	43
IV.3.1.3. Evapotranspiration réelle (ETR)	43
IV.3.2. Représentation graphique du bilan d'eau	45
<b>CHAPITRE V : HYDROGEOLOGIE</b>	
V.1 Introduction	48
V.2 La nappe superficielle	48
V.3 La piézométrie	48
<b>CHAPITRE VI : HYDROCHIMIE</b>	
VI.1 Introduction	53
VI.2 Matériels et méthode d'échantillonnage	53
VI.3 Interprétation des résultats	55
VI.3 .1. Les caractéristiques physiques	55
VI.3 .1.1. Les Températures	55
VI.3 .1.2. Le pH	56
VI.3 .1.3. La conductivité électrique	56
VI.3 .1.3. La Dureté	58
VI.3 .2. Les Cations ( $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+}$ , $\text{Na}^+$ , $\text{k}^+$ )	58
VI.3 .2.1. Le Sodium $\text{Na}^+$	58
VI.3 .2.2 Le Calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ )	59
VI.3 .2.3 Le Magnésium ( $\text{Mg}^{+2}$ )	59
VI.3 .2.4. Le potassium ( $\text{k}^+$ )	60

VI.3 .3. Anions ( $\text{Cl}^-$ , $\text{SO}_4^-$ , $\text{HCO}_3^-$ , $\text{NO}_2^-$ ).	60
VI.3 .3.1 Les Nitrites ( $\text{NO}_2^-$ )	60
VI.3.3.2 Sulfate	61
VI.3 .3.3 Les Chlorure	61
VI.3 .3.4 Les bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ )	62
VI.3 .4 Les Métaux lourds	62
VI.3 .4.1 Le Plomb	63
VI.3 .4.2. Le Fer	64
VI.3 .4. 3. Le Manganèse	65
VI.3.4.4 Le Nickel	66
VI.3 .4.4 Le Cuivre	67
VI.4 évolution spatiale de la pollution	68
VI.4.1. Cartes de répartition du pH	68
VI 4.2. Cartes de répartition des conductivités	68
VI.4 .3 . Évolution de la distribution spatiale des cations majeurs des eaux souterraines	69
VI.4 .3 .1 Le calcium et le sodium	69
VI.4 .3.2 Le magnésium	70
VI.4 .3 .3 Le potassium	70
VI.4 .4 évolution de la distribution spatiale des anions majeurs des eaux souterraines	70
VI.4 .4.1 Les chlorures	70
VI.4 .4.2 Les bicarbonates	71
VI.4.4.3 Les sulfate	72
VI.4.4.4 Les nitrites	72
VI.4 .5 évolution de la distribution spatiale des métaux lourds dans les eaux souterraines	73
VI 4.5.1 Carte des teneurs en Manganèse	73
VI.4.5.2 Carte des teneurs en Nickel	74
VI.4.5.3 Carte des teneurs en Plomb	74
VI.4.5.4 Carte des teneurs en cuivre	74
VI.4.5.5 Carte des teneurs en Fer	75
VI.5 Méthode hydro chimique	75
VI.5 .1 Les faciès chimiques des eaux souterraines	76

VI.5 .1.1.Faciès chloruré-sodique	76
VI.5 .1.2.Faciès chloruré-calcique et magnésien	76
VI.5.1.3.Faciès bicarbonaté-calcique et magnésien	76
VI.5 .1.4. Faciès sulfate calcique	76
VI.5 .2.Discussion des rapports caractéristiques	
VI. 6 .Analyse en composantes principales	79
VI. 6 .1 Introduction	79
VI. 6 .2 ACP des eaux souterraines	79
VI.7 APTITUDE DES EAUX DE LA ZONE D'ETUDE A L'IRIGATION	86
VI.7.1 Caractéristiques physiques	86
VI.7.1.1 La température	86
VI.7.1.2 Le pH	86
VI.7.1.3 La conductivité électrique (CE)	87
VI.7.2 Caractéristiques chimiques des eaux	87
VI.7.2.1 T.D.S ou Taux des Sels Dissous	89
VI.7.2.2 TH (Dureté de l'eau ou titre hydrométrique)	90
VI.7.2.3. D.B.O <sub>5</sub> ou Demande Biologique d'Oxygène cinq jours	90
VI.7.2.4 Les Chlorures	91
VI.7.2.4 Les Chlorures	91
VI.7.2.6 : Le Sodium	92
VI.7.3 Les ETM ou éléments métalliques traces	94
VI.7.3.1 Le Plomb (Pb)	94
VI.7.3.2 Le Cuivre	95
VI.7.3.3 Le Fer	95
VI.7.3.4 Le Nickel	96
VI.7.3.5 Le Manganèse	96
VI.7.4 Autre risque de pollution	98
VI.7.4.1 Le retour des eaux d'irrigation, une autre source de pollution	98
VI.7.5 Critères de qualité des eaux d'irrigation	99
VI.7.5.1 Définition des classifications des eaux d'irrigation	99
VI.7.5.2 Diagramme de Richards	100

VI.7.5.3 Diagramme de WILCOX	101
VI.7 .6 DISCUSSION DES RESULTATS	103
<b>VI.8 Analyses chimiques du sol</b>	<b>105</b>
VI.8.1. Définition d'un site pollué	105
VI.8.2. Terminologie relative aux éléments chimiques	105
VI.8.2.1. Éléments traces	106
VI.8.2.2 L'utilisation de métaux	106
VI.8.3 Les forme des éléments traces métalliques dans les sols	107
VI.8.3.1. Mobilité	107
VI.8.3.2 Biodisponibilité	108
VI.8.3.3 Solubilité	108
VI.8.3.4. Stabilité	108
VI.8.3.5. Volatilité	108
VI.8.4. Contexte conceptuel	108
VI.8.4.1. Processus naturels	108
VI.8.4.1.1. Fond géochimique (FG)	108
VI.8.4.1.2. Fond pédogéochimique naturel	108
VI.8.4.2. Divers apports	109
VI.8.5. Echantillonnage, traitement des échantillons	110
VI.8.5.1. Préparation des échantillons, méthode de dosage	111
VI.8.6. Résultats et discussion	111
VI.8.6.1. Le chrome (Cr)	111
VI.8.6.2. Le manganèse (Mn)	112
VI.8.6.3. Le fer (Fe)	114
VI.8.6.4. Le cobalt (Co)	115
VI.8.6.5. Le Nickel (Ni)	116
VI.8.6.6. Le cuivre (Cu)	117
VI.8.6.7. Le zinc (Zn)	118
VI.8.6.8. Le cadmium (Cd)	120
VI.8.6.9.Le plomb (Pb)	121

VI.9. EVALUATION DETAILLEE DES RISQUES SUR LA SANTE	
VI.9.1.Introduction	123
VI.9.2.Cuivre	123
VI.9.3 Le plomb	124
VI.9.4.Evaluation détaillée des risques sur la santé humaine	126
VI.9.4 .1. Définition des concentrations d'exposition	126
VI.9.4 .2. Estimation des doses d'exposition	126
VI.9.5.Estimation du risque	128
VI.9.6.Conclusion	133
Conclusion générale	134
BIBLIOGRAPHIE	135
Annexes	138

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau.1 : Tableau récapitulatif du bassin Versant Côtiers Constantinois Centre.	11
Tableau.2 : Quelques caractéristiques de sous bassin Versant du lac Fetzara	11
Tableau.3 : Répartitions arithmétiques de la superficie	14
Tableau 4 : Classification du réseau hydrographique du BVI Berka Zerga	17
Tableau.5 : Coordonnées géographiques des stations météorologiques	32
Tableau.6 : Précipitations annuelles (mm) et coefficients pluviométriques Des stations de Berrahal, et les Salines	33
Tableau. 7 : Précipitations moyennes mensuelles (en mm), 1981/82-2005/06	36
Tableau. 8 : précipitations moyennes saisonnières (en mm) pour les stations de Berrahal et les Salines, (1981/82-2005/06)	38
Tableau.9 : Températures moyennes mensuelles pour la station des Salines en °C), 1981/1982-2005/2006	39
Tableau.10 : variations des humidités relatives moyennes mensuelles (en %) de la station des Salines (1981/1982 ; 2005/2006)	41
Tableau.11 : variations des humidités relatives moyennes annuelles (en %) de la station de Berrahal (1981/1982-2005/2006)	41
Tableau.12 : Le bilan hydrique pour la station de Berrahal d'après la méthode De C. W. Thornthwaite	45
Tableau13 : Le bilan hydrique pour la station des Salines d'après la méthode de C. W. Thornthwaite	45
Tableau 14 : Les lignes directrices de l'OMS la qualité de l'eau potable(2011)	53
Tableau 15 : Normes Algériennes des rejets	54
Tableau 16 : Matrice de corrélation (Pearson (n))	79
Tableau 17 : Matrice de corrélation de Pearson pour ETM	80
Tableau 18 : Corrélations entre les Variables et les facteurs	81
Tableau 19 : Classification des Valeurs du pH, pour l'irrigation ((FAO, 1976)	84
Tableau.20 : Répartition des puits analysés suivant la norme FAO, 1976	85
Tableau .21: Répartition des puits en fonction des classes TDS.	86
Tableau.22 : Classification des Chlorures par rapport à la Norme	88



Tableau .23: Répartition des puits selon le risque établie par la (FAO, 1985)	89
Tableau.24 : Répartition des puits en fonction des classes de risque (sodium)	90
Tableau.25 ; Représentation du risque de Fer (FAO, 1985)	92
Tableau 26 ; Représentation du risque du Manganèse (FAO, 1985)	94
Tableau.27 : pourcentage de Sodium	98
Tableau 28 : SAR (Sodium Absorption Ratio)	98
Tableau.29 : Éléments traces dans les roches et les sols	105
Tableau 30 : éléments chimiques dans la zone d'étude	121
Tableau 31 : Scénarios et résultats de l'évaluation des risques	124

## LISTES DES FIGURES

Figure01 : Situation géographique de la zone d'étude.....	3
Figure 02 :.Photo montrant la disposition du lac Fetzara par rapport à la décharge.....	3
Figure 03 : coupe par le piémont de la bordure Sud du lac Fetzara (in BELHAINRA 2001°) .	7
Figure.04 : Bassin Versant Côtiers Constantinois Centre.....	10
Figure.05 : Courbe Hypsométrique.....	15
Figure 06 : Carte du réseau hydrographique du sous bassin Berka Zerga .....	17
Figure.07 : Position structurale du massif de l'Edough dans l'orogène Alpin ..... du méditerrané sud occidental, d'après Durand Delga, 1969.	21
Figure08 : Carte géologique schématique du massif de l'Edough, (Hilly, 1962) .....	22
Figure09 : Colonne lithologique du massif de l'Edough (D'après Hammor, 1992).....	24
Figure. 10 : Situation Geologique Des Plaines De La Région D'Annaba-Bouteldja ..... (D'après Strojexport, 1975, modifié par A. HANI 2002)	26
Figure11 : carte géologique de la région de Berka Zerga .....	30
Figure.12 : Variations des coefficients pluviométriques pour les stations de Berrahal, ..... et les Salines (1981/82- 2005/06)	35
Figure.13 : Variations des précipitations annuelles (en mm) pour les stations ..... de Berrahal et les Salines, (1981/82-2005/06)	36
Figure.14 : Variations des précipitations moyennes mensuelles (en mm) ..... Pour les stations de Berrahal et les Salines, (1981/82-2005/06)	37
Figure.15 : Variations des précipitations moyennes saisonnières (en mm) ..... Pour les stations de Berrahal, et les Salines	38
Figure.16 : Variations des températures moyennes mensuelles (en °C) pour la station des Salines(1981/1982-2005/2006).....	39
Figure. 17 : Digramme ombrothermique pour la station des Salines.....	40
Figure.18 : Digramme ombrothermique pour la pour la stasion de Berrahal .....	40
Figure.19 : Bilan d'eau (Station Berrahal 1981-2006) .....	46
Figure 20 : Bilan d'eau (Station des Salines 1981-2006) .....	46
Figure 21 : Carte piézométrique Décembre 2006.....	49

Figure 22 : Carte piézométrique mars 2007.....	50
Figure 23 : Carte piézométrique juin 2007.....	51
Figure. 24 : Carte d'inventaire des points d'échantillonnage.....	52
Figure. 25 : Variations des températures des eaux de la nappe.....	54
Figure.26 : Variations du pH des eaux de la nappe .....	55
Figure. 27 : Variations du pH des lixiviats.....	55
Figure.28 : Variations des conductivités électriques des eaux de la nappe.....	56
Figure 29 : Variations des conductivités électriques des lixiviats.....	57
Figure30 : Variations de la dureté des eaux de la nappe .....	57
Figure 31 : Variations du sodium dans les eaux de la nappe.....	58
Figure 32 : Variations du calcium dans les eaux de la nappe.....	58
Figure 33 : Variations du Magnésium dans les eaux de la nappe.....	59
Figure 34 : Variations du potassium dans les eaux de la nappe.....	60
Figure 35 : Variations des nitrites des eaux de la nappe.....	60
Figure 36 : Variations des sulfates dans les eaux de la nappe.....	60
Figure 37 : Variations des chlorures dans les eaux de la nappe.....	61
Figure 38 : Variations des Bicarbonates dans les eaux de la nappe.....	61
Figure 39 : Variations de la teneur en plomb des eaux de la nappe.....	62
Figure 40 : Variations de la teneur en plomb des lixiviats.....	63
Figure 41 : Variations de la teneur en Fer des eaux de la nappe.....	63
Figure 42 : Variations de la teneur en Fer des lixiviats.....	64
Figure 43 : Variations de la teneur en Manganèse des eaux de la nappe.....	64
Figure 44. Variations de la teneur en Mn des lixiviats.....	65
Figure 45 : Variations de la teneur en Nickel des eaux de la nappe .....	65
Figure 46 : Variations de la teneur en Nickel des lixiviats.....	66
Figure 47 : Variations de la teneur en Cuivre des eaux de la nappe .....	66

Figure 48 : Variations de la teneur en Cuivre des lixiviats.....	66
Figure 49 : Carte du pH.....	67
Figure 50 : Carte de la conductivité.....	67
Figure 51. Carte distribution du sodium dans la zone d'étude.....	68
Figure 52. Carte distribution du calcium dans la zone d'étude.....	68
Figure 53. Carte distribution du Magnésium dans la zone d'étude.....	68
Figure 54. Carte distribution du potassium dans la zone d'étude.....	69
Figure 55. Carte distribution des chlorures dans la zone d'étude.....	69
Figure 56. Carte distribution des Bicarbonates dans la zone d'étude.....	70
Figure 57. Carte distribution des sulfates dans la zone d'étude.....	70
Figure 58. Carte distribution du Nitrites dans la zone d'étude.....	71
Figure 59. Carte distribution du Manganèse dans la zone d'étude.....	71
Figure 60. Carte distribution du Nickel dans la zone d'étude.....	72
Figure 61. Carte distribution du Plomb dans la zone d'étude.....	72
Figure 62. Carte distribution du Cuivre dans la zone d'étude.....	73
Figure 63. Carte distribution du Fer dans la zone d'étude.....	73
Figure.64. diagramme de peper pour les eaux de la zone d'étude.....	75
Figure65 : Diagramme de SHOELLER pour les eaux souterraines de la zone d'étude.....	75
Figure 66 : Valeurs propres et Variabilités cumulées des eaux souterraines.....	78
Fig.67 : Cercle FI-F2.....	79
Figure. 68 : Représentation des individus sur le plan des axes F1 et F2.....	79
Figure. 69 : Vecteurs propres.....	81
Figure .70 :Cercle FI-FII.....	81
Figure.71 : Plan d'individus FI-FII.....	81
Figure72 : Cercle FI-FIII.....	82
Figure73. Plan d'individus FI-FIII.....	82
Figure.73 : carte de situation géographique de la zone et position des puits étudiés.....	83

Figure74. Variation de la température dans l'eau de la nappe.....	83
Figure75. Variations du pH de l'eau mesuré au niveau des puits de la zone d'étude.....	84
Figure.76 : Variations de la conductivité électrique mesurée au niveau des puits.....	85
Figure.77 : variations de la TDS mesurée au niveau des puits étudiés.....	86
Figure.78 : variations de la dureté des eaux des puits analysés.....	87
Figure.79 : Variations de la DBO <sub>5</sub> des points des prélèvements.....	87
Figure.80 : variations des teneurs en chlorures des eaux analysées.....	88
Figure 81 : Variations de la HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> des points des prélèvements.....	89
Figure.82 : Variations des teneurs en Sodium au niveau des puits étudié.....	90
Figure.83 : Variations des concentrations en Plomb au niveau des points prélevés .....	91
Figure.84 : Variations des concentrations du Cuivre au niveau des points de prélèvement....	92
Figure.85 : Variations des concentrations du Fer dans les puits étudiées. ....	92
Figure.86 : Evolution probable des teneurs en fer dans la zone d'étude (Debièche, 2002)...	93
Figure.87 : Variations du Nickel des points des prélèvements.....	93
Figure.88. Variations des concentrations des teneurs du Manganèse.....	94
Figure.89 : Les sources de pollution recensées : cas de la zone d'étude (In Habes 2013).....	95
Figure.90 : Diagrammes de Richards : eaux de la plaine d'oued Zied.....	96
Figure.91 : Diagrammes de Wilcox : eaux de la plaine d'oued Zied.....	98
Figure.92 : Différentes formes et localisations des éléments traces dans les sols.....	103
Figure.93 : Carte d'inventaire des échantillons de sol.....	106
Figure. 94 : Teneurs en Cr.....	108
Figure.95 : Carte de distribution de Cr (en mg/kg).....	108
Figure96 : Teneurs en Mn.....	109
Figure.97 : Carte de distribution de Mn (en mg/kg).....	109
Figure.98 : Teneurs en Fe.....	110

Figure.99 : Carte de distribution de Fer (en mg/kg).....	110
Figure.100 : Teneurs en Co.....	111
Figure.101 : Carte de distribution de en cobalt (mg/kg).....	111
Figure.102 : Teneurs en Nickel.....	112
Figure.103 : Carte de distribution de Nickel en (mg/kg).....	112
Figure.104 : Teneurs en cuivre .....	113
Figure.105 : Carte de distribution de Nickel en (mg/kg).....	113
Figure.106 : Teneurs en Zinc .....	114
Figure.107: Carte de distribution de Zinc en (mg/kg).....	114
Figure.108 : Teneurs en Cadmium .....	115
Figure.109 : Carte de distribution de Cadmium en (mg/kg).....	115
Figure.110 : Teneurs en Plomb .....	117
Figure.111 : Carte de distribution de Plomb en (mg/kg).....	117
Figure.112 : Application de <i>Risk 4 Workbench</i> pour le sol.....	125
Figure.113 : Application de <i>Risk 4 Workbench</i> pour les eaux souterraines.....	125
Figure.114 : Application de <i>Risk 4 Workbench</i> les eaux de surface .....	126
Figure.115 : Histogramme de l'indice de risque selon les récepteurs.....	126

## LISTE DES ABREVIATIONS

ACP : analyse en composantes principales  
ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydriques  
BV : bassin Versant  
BV BZ : bassin Versant Berka Zerga  
CT : Concentration Tolérable  
CET : centre d'enfouissement techniques  
DA : déficit agricole  
DJA : Dose Journalière Admissible  
DJE ad. : Dose Journalière d'Exposition Adulte  
DJE enf. : Dose Journalière d'Exposition Enfant  
DJE : Dose Journalière d'Exposition  
EDR. : Evaluation Détaillée des Risques  
ERI ad. : Excès de Risque Individuel Adulte  
ERI enf. : Excès de Risque Individuel Enfant  
ERI : Excès de Risque Individuel  
ERU : Excès de Risque Unitaire  
ERUI : Excès de Risque Unitaire pour l'Inhalation  
ET : éléments traces  
ETM : éléments traces métalliques  
ETP : évapotranspiration potentielle  
ETR : évapotranspiration réelle  
Ets : entreprise  
Exc : excédent  
FG : fond géochimique  
FPGN : fond pédo-géochimique naturel  
IR ad. : Indice de Risque Adulte  
IR enf. : Indice de Risque Enfant  
IR : Indice de Risque  
P.N.E : Plan Nationale de l'Eau  
RFU : réserve facilement utilisable  
SAR : sodium absorption ratios  
TAH : Teneurs agricoles habituelles  
TDS : Total des Solides Disso

## Introduction générale

La contamination des sites naturels d'eaux par des polluants toxiques constitue une menace potentielle susceptible d'affecter à l'avenir les activités humaines. (Andreasen *et al.*, 2001).

En Algérie, ce danger est constaté dans toutes les villes et en particulier la ville d'Annaba. Cette dernière, par sa géomorphologie et sa situation propice, est devenue un pôle très important en industrie et en agriculture en plus de l'extension en urbanisme. Ce développement a contribué d'une façon intensive à une pollution permanente et dangereuse des réserves en eau. (Foufou A et Toumi F, 2008)

En matière de pollution par les décharges, le recours au centre d'enfouissement technique (CET) est très récent, datant des années 1990. Quoique, les CET n'ont pas endigué les pollutions et ne peuvent être efficaces que s'ils sont réalisés selon les normes. Nous avons remarqué qu'entre la pose de la géo membrane destinée à protéger le sol et les nappes d'eau souterraines, Le transfert des déchets vers les nouveaux sites, s'étale dans le temps, d'où un accroissement de la pollution. Le plus dangereux c'est l'infiltration des lixiviats dans le sous-sol entraînent une forte dégradation des eaux souterraines dans les sites des décharge

Perpétuant cette dernière sur le sol et/ou la nappe en matières, organiques et en ETM. Ce processus se présente dans toutes les décharges, et les CET n'empêchent pas le risque de contamination.

La décharge de Berka Zerga objet de notre étude, sa superficie totale près de 30 ha et la surface occupée par l'actuel dépôt est d'environ 5 ha. Elle reçoit environ 400 tonnes/jour de déchets. Elle n'échappe pas à cette problématique. Par ailleurs ladite décharge est située sur une colline, ce qui favorise les écoulements vers la plaine. Dans ce contexte, cette décharge culmine à plus de 150 mètres d'altitude et a fait l'objet de la pose d'une géo-membrane. Cependant, et faute de la finition du CET, les déchets sont restées sur l'ancien site accentuant le risque de nuisances.

Dans ce contexte, notre travail se propose de donner un aperçu détaillé sur cette pollution liquide en mesurant la contamination des eaux de la plaine d'oued Zied par des métaux toxiques (Khelfaoui *et al.* 2013 ; Bougherira *et al.* 2014 ; Chaffai *et al.*, 2016) tels que, le manganèse, le nickel, le plomb et le zinc Fer. L'impact de ces derniers sur l'environnement proche est aussi présenté.

Cette étude est menée grâce à un suivi analytique des eaux souterraines prélevées dans des puits et des analyses de sols situés autour de la décharge et jusqu'au lac Fetzara.



## Première Partie : Caractéristiques physique de la zone d'étude

### Chapitre I. SITUATION GEOGRAPHIQUE

#### I.1 situation régionale

La région d'ANNABA est située au Nord-Est algérien sur la totalité de la frange tellienne entre la longitude 7°40' E et la latitude 36°30' N. Elle occupe une position stratégique sur le littoral septentrional de la Méditerranée. Elle s'étend sur une superficie de 1412 km<sup>2</sup>, sa population est de 600.000 habitants environ, soit une densité de 425 ha/km<sup>2</sup>. Elle est limitée au Nord par la mer Méditerranée, au Sud la wilaya de Guelma, de Souk Ahras, à l'Est la wilaya de Tarf et à l'Ouest par la wilaya de Skikda.

La région se caractérise par deux importantes chaînes de montagnes : la succession de montagnes littorales et la chaîne numidique. Les montagnes littorales correspondent à des crêtes souvent allongées et arrondies dont les altitudes varient entre 200 et 400m (monts de la Cheffia). Le mont de l'Edough est nettement séparé des reliefs, situés au Nord-Ouest sa masse principale est plongée en direction du Nord à 55° Est. La ligne de crête relativement rectiligne longue de 26 Km, débute au Nord du lac Fetzara, elle s'élève rapidement à plus de 600m pour culminer à 1008m d'altitude au Kef Seba et redescend à 867 m vers Séraïdi, elle s'abaisse ensuite régulièrement jusqu'au cap de Gard au Nord de la ville.

Le climat est de type méditerranéen caractérisé par deux étages bio-climatiques. L'étage bio-climatique humide et doux, au Nord, se démarque par des précipitations dépassant les 767 mm/an avec un maximum à Seraidi, point culminant du massif de L'Edough (plus de 1000 mm/an). Le Sud est caractérisé par un étage bio-climatique sub-humide et frais où la moyenne des précipitations atteint les 700 mm/an sur les monts de Ain Elberda.

#### I.2.situation de la zone d'étude

La zone d'étude est une région formée d'un bassin versant nommé Berka Zerga et une plaine de oued zied et une étendue d'eau c'est le lac Fetzara. Elle se situe à 15 Km au Sud-Ouest de la ville de Annaba, elle est entourée par les massifs montagneux de l'Edough et djebel Beliliéta, le bassin versant de berka zerga fait partait du massif de beliliéta, il est limité au Sud par le col de Kef Ghorab, à l'Est par le col de Berka Zerga, au Nord par la route

## Première Partie : Caractéristiques physique de la zone d'étude

nationale N° 44 (Annaba-Skikda-Constantine), et enfin par La plaine de oued zied et le lac Fetzara à l'Ouest. La plaine est traversée par l'oued Guilla et l'oued Zied.

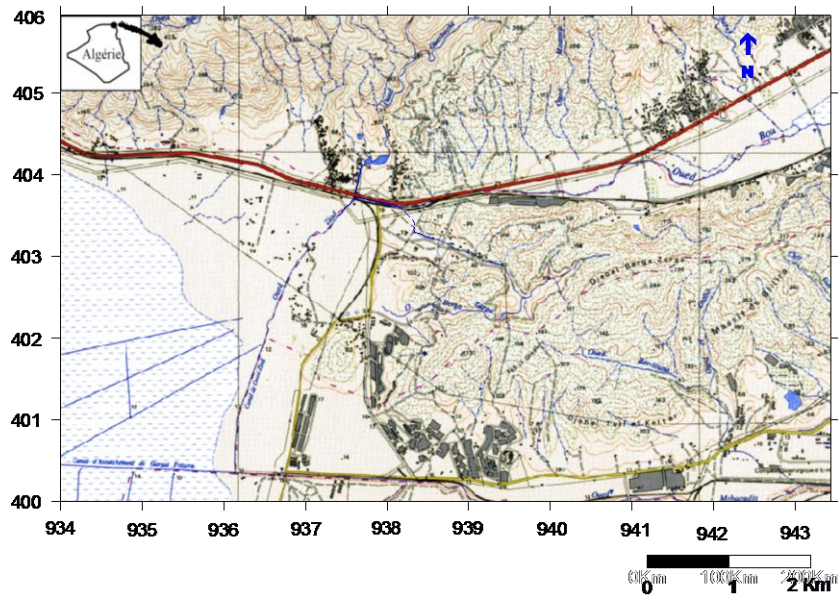


Fig. 01 : Situation géographique de zone d'étude

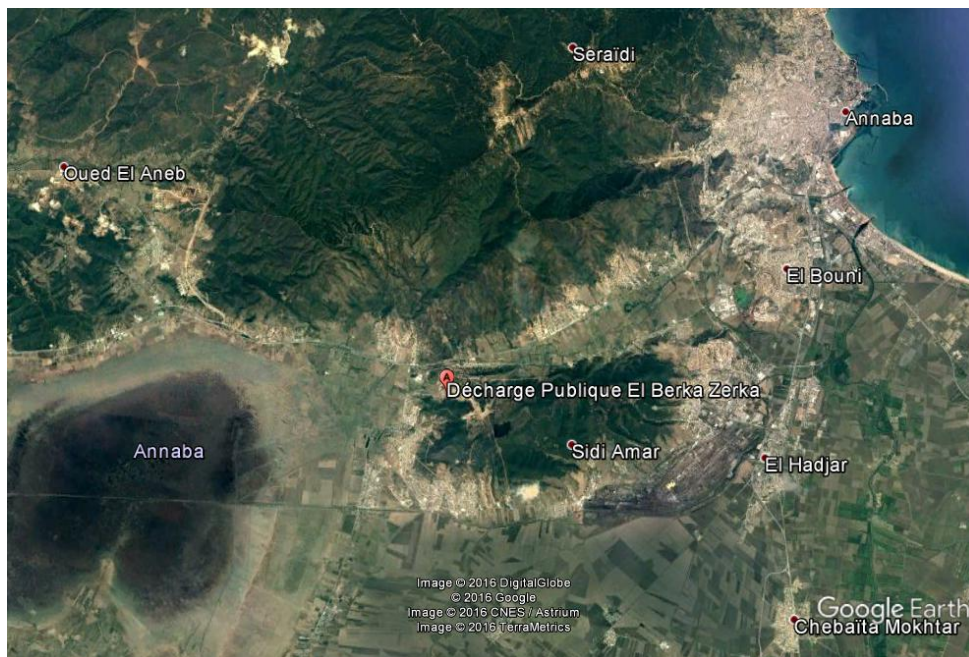


Fig. 02. Photo montrant la disposition du lac Fetzara par rapport à la décharge.

## Première Partie : Caractéristiques physique de la zone d'étude

### Chapitre II GEOMORPHOLOGIE

#### II.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 à l'Ouest, et la Seybouse et l'Oued Meboudja à l'Est.

#### II.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 de Crête relativement rectiligne longue de 26km, débute au Nord du lac Fetzara, elle s'élève rapidement à plus de 600m pour culminer à 1008m d'altitude au Kef Seba et redescend à 867m vers Séraïdi, elle s'abaisse en suite régulièrement jusqu'au Cap de Garde au Nord de la ville de Annaba.

Entre Beleliéta et Bouhamra se creuse la vallée transversale de la basse Mehoudja 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 situé entre les deux communes de Oued El Aneb et Berrahal (226m), le second au Nord de Boumaïza (130m).

#### II.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.

À 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 culturelle.

## Première Partie : Caractéristiques physique de la zone d'étude

### II.4. Les sols des versants

Les versants Nord et Sud disposent d'une remarquable couverture végétale donnant l'aspect d'une succession visible à l'œil 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 oeuvre par le développement d'arboriculture en montagne, comme l'olivier, le péchier,.....

Ailleurs, principalement sur les grès, c'est le domaine du maquis méditerranéen typique à cistes et calycotomes associés 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 Toubèïga 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 localises 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 feuillue (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.5. 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

## Première Partie : Caractéristiques physique de la zone d'étude

herbes.

L'agriculture de plaine est surtout axée sur la 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.6. La plaine de Annaba**

La plaine de Annaba est drainée par l'Oued Seybouse est située immédiatement en arrière de la ville de 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. Dans l'espace ainsi défini trois secteurs présentent 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 on 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.

A 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 hydromorphies (marais de Boukmira près de l'aéroport de Annaba).

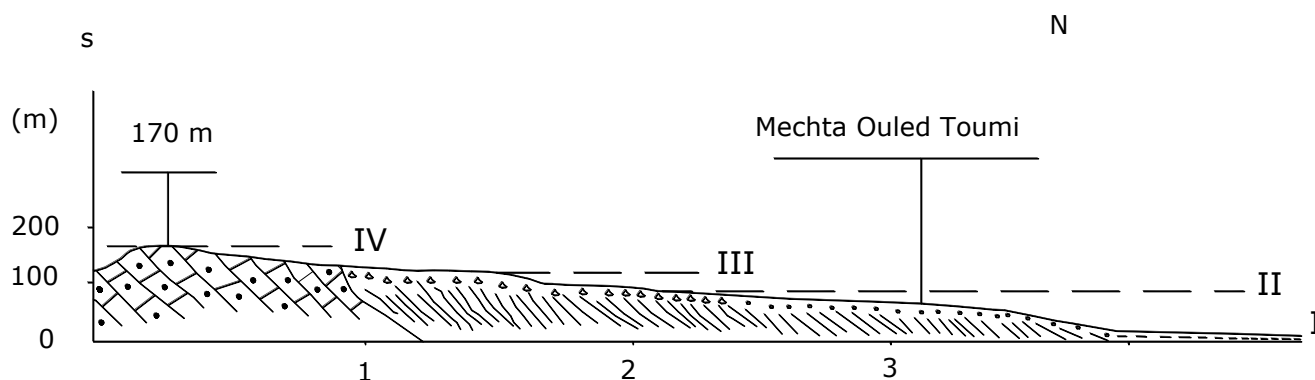
Actuellement à l'Ouest la Seybouse se jette dans la mer Méditerranée à Sidi Salem par l'intermédiaire d'un chenal artificiel creusé pendant les années 1960, c'est pour éviter l'envasement du port par les inondations de l'Oued Seybouse (apport de matériaux qui se déposent au fond de la mer)

### **II.7. 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 ; il est représentés par une large dépression dont les dimensions sont approximativement de 17 km d'Ouest en Est et 13km du Nord au Sud.

## Première Partie : Caractéristiques physique de la zone d'étude

Au Sud, un véritable piémont avec six niveaux de glacis, s'est construit en aval du tell Nord Guelmien. La coupe (Fig.03) 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.



Source: A. Marre, 1992

Légende:

IV - III - II - I: niveaux de glacis

Fig.3 : Coupe par le piémont de la bordure Sud du lac Fetzara (in Belhainra, 2001)

Cette cuvette s'est formée suite à une grande tectonique active pendant le cénozoïque et le Quaternaire (Fig. 03), ainsi la série de Fetzara s'est développée en bordure du Lac Fetzara 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.

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 de Annaba. Ces deux ensembles morphologiques sont séparés par un cordon dunaire, celui-ci sert de ligne de partage des eaux, entre le lac



## Première Partie : Caractéristiques physique de la zone d'étude

Fetzara et l'Oued Meboudja, et il ferme aussi la dépression.

Le canal de dessèchement, long de 14km, 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 Meboudja 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 et 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 biostatiques pendant que 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 Mehoudja qui sinuait autrefois entre Beleliéta et Bouhamra avant de se relier dans l'Oued Seybouse.

La plaine d'El Hadjar se termine brutalement au Nord, contre le Djebel Beleliéta, 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 l'élaboration 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.

## Première Partie : Caractéristiques physique de la zone d'étude

### II.8. Le bassin Côtiers Constantinois Centre

On localise notre zone d'étude dans le bassin versant côtiers constantinois centre qui a une Superficie de l'ordre de 5582 Km<sup>2</sup>, soit 48.5% de la superficie totale du bassin Côtiers Constantinois. Il y a 886240 habitants selon le recensement de 1998, répartis sur 58 communes et 05 wilayas. Le bassin versant se caractérise par une agriculture traditionnelle et moderne, les cultures maraîchères, l'irrigation mixte, les céréales et l'arboriculture. Ainsi L'industrie concentré autour des agglomérations principales ; Skikda (Sonatrach), Azzaba et Berrahal.



## Première Partie : Caractéristiques physique de la zone d'étude

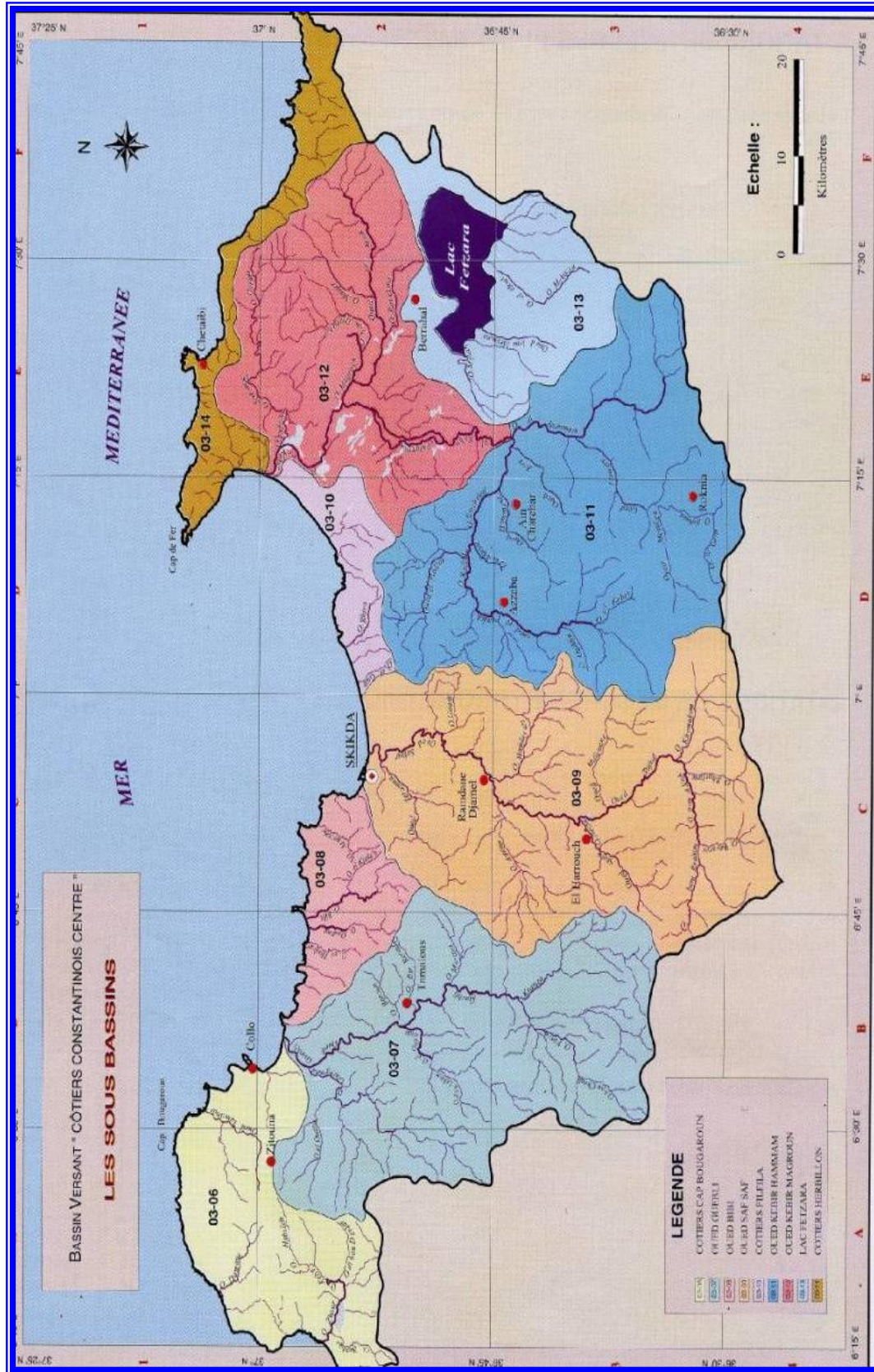


Fig.4 : Bassin versant Côtiers Constantinois Centre (A.N.R.H, 2000).

- **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

## Première Partie : Caractéristiques physique de la zone d'étude

hydrométriques suivies par l'Agence Nationale des Ressources hydrauliques (A.N.R.H).

- **Hydrographie** : il présente un chevelu hydrographique dense totalisant un réseau de plus de 4200 Km et compte plus de 44 oueds principaux (fig. 04).

**Tableau.1** : Tableau récapitulatif du bassin versant Côtiers Constantinois Centre.

<b>B.V Côtiers Constantinois Centre</b>		
<b>Ressources souterraines</b>	Superficie (Km <sup>2</sup> ) : 4962	Potentialités des nappes (hm <sup>3</sup> /an), (selon P.N.E, 2000) <sup>(1)</sup> : 32.5
<b>Ressources superficielles (hm<sup>3</sup>/an), (selon P.N.E, 2000)</b>	324.16	
<b>Barrages</b>	Nombre : 04	Capacité (hm <sup>3</sup> /an) : 312
<b>Retenues collinaires</b>	Nombre : 101	

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

La zone d'étude est localisée dans le sous bassin versant du lac Fetzara qui porte le numéro de cote (03 13), (Fig. 04).

### II.9. Caractéristiques de sous bassin versant du lac Fetzara

**Tableau. 2** : Quelques caractéristiques de sous bassin versant du lac Fetzara.

<b>Sous bassin versant du lac Fetzara</b>			
<b>Numéro de côte</b>	03 13		
<b>Potentiel des nappes (en hm<sup>3</sup>/an), selon P.N.E</b>	13.4		
<b>Superficie (Km<sup>2</sup>)</b>	515		
<b>Retenues collinaires</b>	Nombre : 31	Capacité (m <sup>3</sup> ) : 2563000	Destination : irrigation
<b>Alimentation en eau potable</b>	Nombre de réservoirs : 17	Volume (m <sup>3</sup> ) : 5920	

Le réseau hydrographique de sous bassin est constitué de quatre oueds qui sont :

## Première Partie : Caractéristiques physique de la zone d'étude

- 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 Km<sup>2</sup> et qui se fait du Sud Ouest vers le Nord Est en se reliant au canal d'assèchement au contact du lac Fetzara.
- 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 Km<sup>2</sup>.
- 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 Km<sup>2</sup>.
- 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 quel que soit le débit par le canal principal l'eau est évacuée vers l'oued Meboudja puis oued Seybouse vers la mer.

### II.10. Identification des caractères hydrogéologique DU B. V. DU Berka Zerga

#### II.10.1 Caractéristiques physiques et morpho métriques du bassin versant du Berka Zerga

Le bassin versant dans lequel se localise la décharge urbaine Berka Zerga est situé sur le flanc sud du massif métamorphique du Béliliéta à 3 km à l'Ouest de la commune ehjar eddiss

Le bassin versant berka zerga a une forme allongée dont le sommet est orienté vers l'est alors que la partie basse est limitée par une zone planeon allant vers le lac Fetzara .

La ligne de partage des eaux est constituée essentiellement par les lignes de crête représentant les points les plus élevés. En effet le sommet de culmine à 288 m et représente le point le plus élevé du BV. La limite est caractérisée par une ligne de crête dont l'altitude passe de 265 à 100 sur une distance de 1300 m. Au-delà la pente devient moins accentuée. La limite Est est plus uniforme et passe de 265 à 60 m sur une distance de 2500 m.

Ces lignes de crête entourent le BV BZ. La partie aval est limitée par où se trouve l'exutoire dont l'évacuation des eaux l'oued gouilla se déverse dans oued zied où l'altitude descend à 22 m.

La partie supérieure du BV BZ est couverte par un maquis qui devient dense au niveau des talwegs. Lorsque la pente devient moins prononcée nous retrouvons un couvert herbacé et des terrains cultivés plus au sud.

## Première Partie : Caractéristiques physique de la zone d'étude

La carte topographique au 1/25 000è de Séraïdi (figure 1), la photo aérienne du et le fond topographique (figure 3) sont à la base de la détermination des caractéristiques morphométriques du BVCE (TOUMI ,2008).

<i>SOUS BASSIN</i>	<i>SUPERFICIE EN KM<sup>2</sup></i>	<i>PERIMETRE EN KM</i>
<b>BERKA ZERGA</b>	4.528	10.300

Le tableau ci-dessous récapitule les surfaces planimétriques du bassin versant du BERKA ZERGA . Superficie en km<sup>2</sup>

$$\text{Superficie du Bassin} = A' \text{ Périmètre réel du Bassin} = P$$

L'indice de compacité de Gravélius K

Il est donné par la formule suivante:

$$K = \frac{\text{Périmètre stylisé du bassin}}{\text{Périmètre du cercle de surface équivalente}}$$

Si A est la surface du bassin nous aurons

$$K = \frac{0.28.P}{\sqrt{A}}$$

### II.10.2 - Courbes caractéristiques de la topographie du BVBZ

#### II.10.2.1 Caractéristiques du relief

De par son influence sur les facteurs météorologiques (précipitations, températures, vents etc. ...), le relief ou la topographie est un élément essentiel qu'il importe d'étudier. Plus que la forme, il peut avoir un rôle déterminant dans le Conditionnement du comportement hydrologique du bassin du relief d'un bassin versant sont donnés ci-dessous Les critères descriptifs

## Première Partie : Caractéristiques physique de la zone d'étude

Tranche d'altitude	Superficie en km <sup>2</sup> tranche si	Superficie si/∑si %	Superficie cumule en%	Altitude moyenne	HI*SI
250-288	0.057500	1.20	1.20	269	15.47
200-250	0.168125	3.50	4.7	225	37.83
150-200	0.536875	11.16	15.86	175	93.95
100-150	1.330625	27.67	43.53	125	166.39
50-100	1.450000	30.16	73.69	75	108.75
22-50	1.265625	26.31	100	36	45.56
	$\sum si = 4.80875$			$H_{moy} = \frac{\sum hi.si}{\sum si} = 97.28$	$\sum hi.si = 467.95$

### II.10.2.2 Répartition arithmétique de la superficie :

Tableau. 03 Répartitions arithmétiques de la superficie

#### -Notion d'hypsométrie

L'analyse hypsométrique est très utile pour l'étude du relief. Elle permet de comprendre la relation entre les paramètres climatiques (précipitations, écoulement de surface et bilan d'eau) et l'altitude du bassin. Il devient donc impératif d'étudier la répartition de la superficie du bassin par classe d'altitude.

#### II.10.2.3 Détermination de la courbe hypsométrique

Afin de décrire et d'expliquer les formes du relief, on doit réaliser des courbes dites "hypsométriques". Pour cela, on dispose des cartes topographiques à partir desquelles on procède à la répartition de la superficie du bassin par classe d'altitude (Tableau 3). Ensuite, le report du cumul des aires élémentaires en abscisses arithmétiques et les valeurs altimétriques en ordonnées, également arithmétiques, permet de tracer la courbe hypsométrique du bassin. Cette dernière est susceptible de changer avec le temps au fur et à mesure que le bassin est consommé par l'érosion.

Dans certains cas, il convient d'utiliser, au lieu de la surface cumulée, le cumul du pourcentage, par rapport à la superficie totale, des aires élémentaires. Le plus souvent, une courbe hypsométrique peut être remplacée sinon associée à un histogramme des fréquences altimétriques (Figure 4).

#### II.10.3 - Altitudes caractéristiques

##### - L'altitude moyenne

L'altitude moyenne du bassin est calculée par la formule suivante :



## Première Partie : Caractéristiques physique de la zone d'étude

$$H_{moy} = \frac{\sum H_i * S_i}{\sum S_i} = 97.28$$

- L'altitude la plus fréquente

Elle correspond au maximum de l'histogramme des fréquences arithmétiques. Nous parlerons de la classe d'altitude la plus répandue et qui correspond pour le bassin versant du berka zerga à la tranche d'altitude 50- 100 m et est égale à 30.16 %.

### - L'altitude médiane

Il s'agit de la valeur de l'altitude qui divise l'aire du bassin de façon à ce que 50% de la superficie du bassin se caractérise par des côtes supérieures et l'autre moitié par des côtes inférieures. L'altitude médiane est déterminée graphiquement sur la courbe hypsométrique, est représenté 114 m.

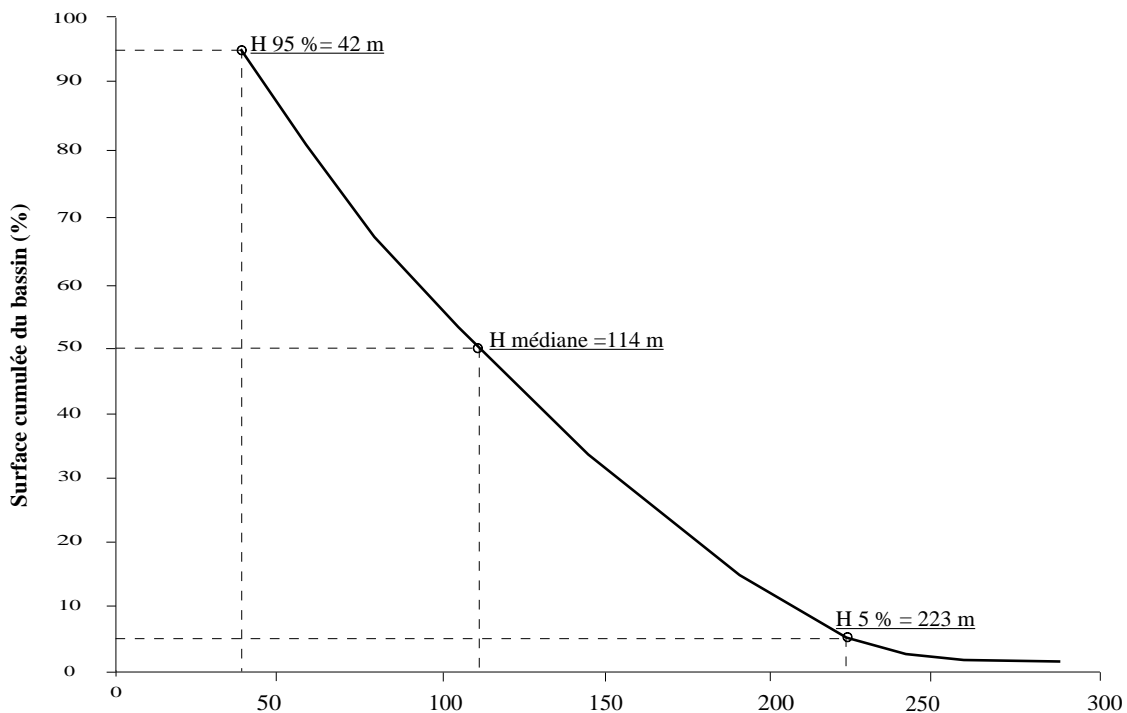
### -L'indice de PENTE

Ces indices permettent de caractériser les pentes d'un bassin versant et d'établir une classification des différents reliefs

- L'indice de pente global (lg)

Cet indice présente l'avantage d'être très simple et facile à calculer. L'indice de pente global (lg), exprimé en m/km, est donné par le rapport de la dénivelée utile (D, en m) ; estimée à partir de la courbe hypsométrique :

$$D = \frac{H_{5\%} - H_{95\%}}{L_e}$$



## Première Partie : Caractéristiques physique de la zone d'étude

Fig.5 : Courbe hypsométrique (TOUMI ,2008).

Selon la courbe hypsométrique (figure05) nous avons :

$H_{5\%} = 223\text{m}$   $H_{95\%} = 42\text{m}$  et  $L_e = 4.025\text{m}$  Donc l'application numérique donne

$$L_G = \frac{223 - 42}{4.025} = 45.47$$

La dénivelée utile (D) est estimée, à partir de la courbe hypsométrique, par la différence des altitudes correspondant à 5% et 95% de la superficie totale du bassin étudié ; altitudes dénotées, respectivement, par  $H_{5\%}$  et  $H_{95\%}$ . Selon la classification adoptée par l'ORSTOM (France), le relief du sous Bassin Berka Zerga est dit type fort car l'indice de pente global est compris entre 50 et 1 00 m/km

Pente moyenne du bassin versant

La pente moyenne du bassin versant est définie par la formule suivante :

$$I = \frac{H_{\max} - H_{\min}}{\sqrt{A}}$$

L'application numérique nous donne :

$$I = \frac{288 - 22}{\sqrt{4.8075}} = 121,317$$

Dans laquelle  $H_{\max}$ , et  $H_{\min}$  sont respectivement, les côtes des points le plus haut et le plus bas du bassin (m). La valeur ainsi obtenue n'est qu'une approximation rapide de la pente.

### II.10.4 Caractéristiques du réseau hydrographique

#### II.10.4.1 Longueur et nombre des thalwegs :

La mesure des longueurs des thalwegs contribue aux différents calculs des paramètres Morpho métriques tels que les rapports de longueur et de confluence, la densité de drainage et le temps de concentration. La détermination des rapports de confluence et de longueurs Nécessite une classification du chevelu hydrographique (figure.6).

La classification de Schumm définit des tronçons de thalwegs à partir d'une règle simple et sans ambiguïté - « Est considéré d'ordre (x+1) tout cours d'eau formé par la réunion de deux cours d'eau d'ordre (x) ; tout cours d'eau sans affluent étant d'ordre 1 » (Figure 6). Cette hiérarchisation, très Sensitive à l'échelle de la carte, étant adoptée, on procède au dénombrement et à la mesure de la longueur des drains pour chaque ordre.

## Première Partie : Caractéristiques physique de la zone d'étude

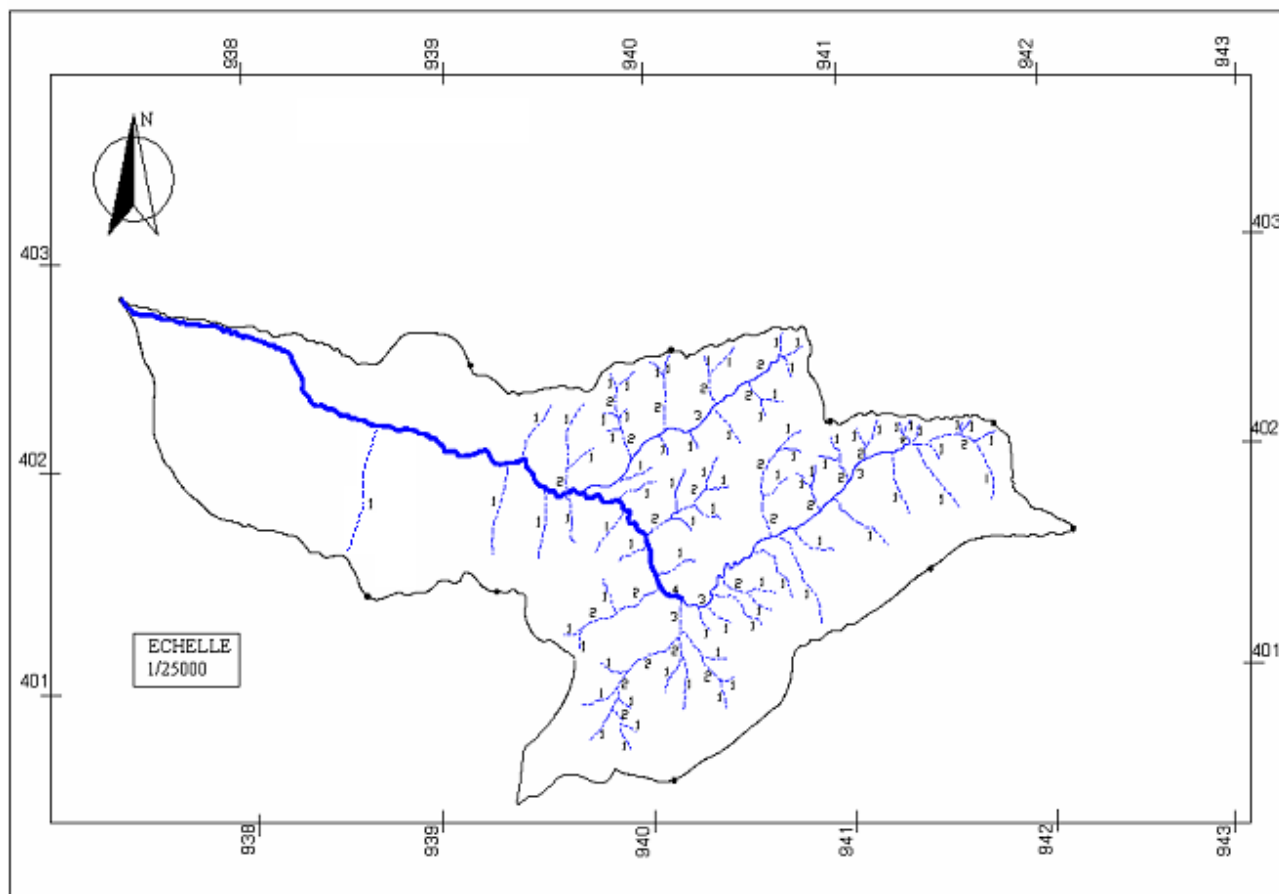


Fig.6. Carte du réseau hydrographique du sous bassin Berka Zerga. (TOUMI ,2008).

Les résultats de l'analyse du réseau hydrographique du sous Bassin Berka Zerga par la méthode de Schumm sont exprimés dans le tableau suivant :

**Tableau 4 : Classification du réseau hydrographique du BV Berka Zerga (TOUMI ,2008).**

Ordre	Longueurs des tronçons en (m)	Nombre de tronçons
1	9625	75
2	3625	25
3	2425	3
4	3475	1
<b>TOTAL</b>	<b>19150</b>	<b>91</b>

### -Densité de drainage

La densité de drainage (Dd) ; exprimée en km/km<sup>2</sup> ; se définit comme étant le rapport de la longueur totale (lx), en km, des cours d'eau à la superficie totale du bassin versant (A), en km<sup>2</sup>, soit :



## Première Partie : Caractéristiques physique de la zone d'étude

$$Dd = \frac{\sum Lx}{A}$$

Selon les résultats du tableau 3 la densité de drainage du\_bv bz est de

$$Dd = \frac{19.5}{4.81} = 0.398 \text{ km/km}$$

### -Le coefficient de drainage

Le coefficient de drainage FI ; se définit comme étant le rapport du nombre NI .de drains d'ordre 1 à la superficie totale du bassin versant (A) en km<sup>2</sup>

$$Fi = \frac{Ni}{A}$$

$$Fi = 75 / 4.81 = 15.59$$

### -Coefficient de torrentialité

Ce coefficient reflète le caractère torrentiel des averses dans le bassin. Il est fortement lié à la densité de drainage et à la fréquence des drains par la relation

$$CT = Fi \times Dd$$

Dans laquelle *Fi* dénote la fréquence des drains d'ordre 1 définie par le rapport du nombre des drains d'ordre 1 à la superficie du bassin versant,

$$CT = 0.398 \times 15.59 = 6.204$$

### -Temps de concentration

C'est le temps mis par la première goutte de pluie tombée sur le point le plus éloigné du bassin pour atteindre l'exutoire. Ce paramètre ; exprimé dans ce cas en Heures; peut être estimé par la formule de Giandotti, applicable pour les bassins étendus à pentes plus ou moins uniformes

$$Tc = \frac{4\sqrt{A} + 1.5Lp}{0.8\sqrt{H_{moy} - H_{min}}}$$

dans laquelle *Lp* est la longueur (en km) du thalweg principal et *H<sub>moy</sub>* et *H<sub>min</sub>*, sont respectivement, les altitudes moyenne et minimale du bassin (en m). Sachant que :

$$H_{moy} = 97.28\text{m et } H_{min} = 22\text{m; } A = 4.81\text{km}^2 \text{ et } Lp = 5.325\text{km}$$

Le temps de concentration pour le Bassin de B.Z

$$Tc = \frac{4\sqrt{4.81} + 1.5 \times 5325}{0.8\sqrt{97.28 - 22}} = 2.41 \text{ heures}$$

Conclusion :

La densité de drainage donne des informations sur l'érosion linéaire (ravinement) et l'érosion Latérale. la valeur calculée est très faible ce qui permet de constater qu'il s'agit d'une érosion par Ravinement. Par ailleurs, Le coefficient de drainage a donné une valeur très élevée égale à 15,59, ce Qui confirme le rôle de la structure géologique dans le processus de ravinement (milieu accidenté Fortement fracturé). (TOUMI ,2008).

### CHAPITRE III. LA GEOLOGIE DU SITE DE LA DECHARGE PUBLIQUE DE BERKA ZERGA ET DE LA ZONE D'IMPACT

#### III.1 Géologie régionale :

##### III. 1. 1 Le complexe cristallophyllien :

En Algérie, le massif de l'Edough est le plus oriental des massifs cristallophylliens du littoral (*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 maghrebides.

Il se présente en un brachyanticlinal à prédominance de gneiss entourés 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.8).

##### III. 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. 05) :

- L'unité supérieure
- L'unité intermédiaire
- L'unité de base

##### III. 1. 2. 1 L'unité supérieure :

Elle affleure essentiellement au Cap de Garde, elle est composée de micaschistes à grenats, de sericitoschistes, 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 dépourvus de biotites, toujours riche en tourmaline à grains grossier 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*).

##### III. 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.

## **Première Partie : Caractéristiques physique de la zone d'étude**

Outre les marbres on rencontre aussi des amphibolites et des pyroxénites souvent réduit 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.

## Première Partie : Caractéristiques physique de la zone d'étude

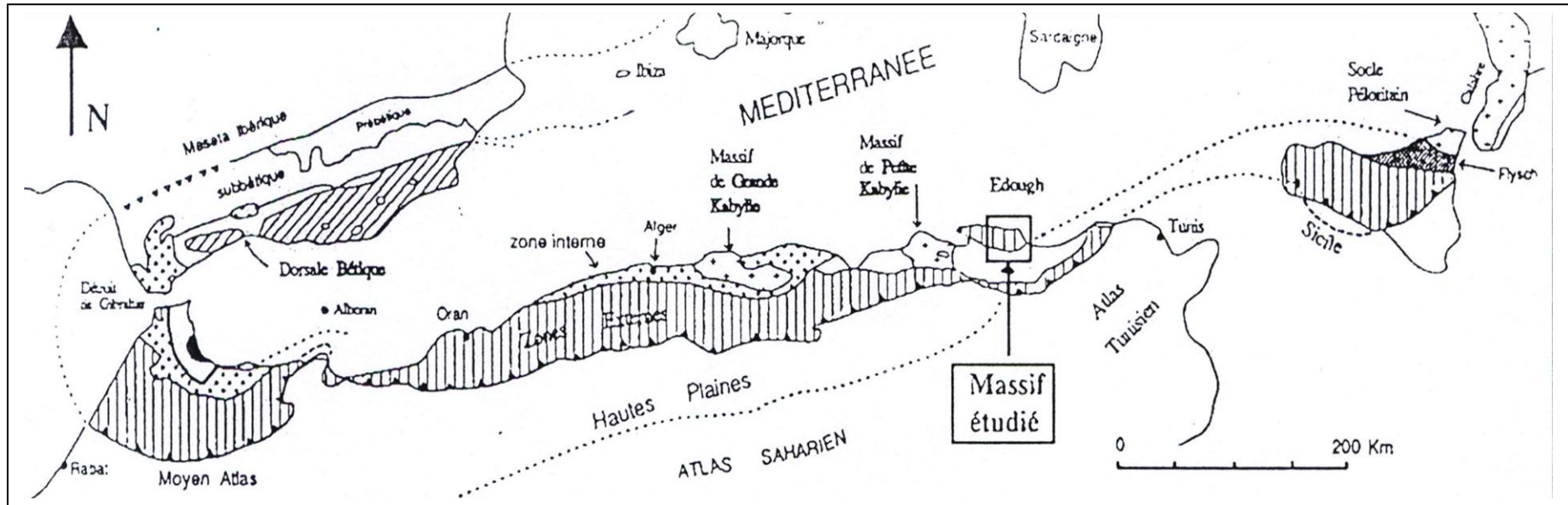


Fig.7 : Position structurale du massif de l'Edough dans l'orogène Alpin du méditerrané sud occidental, d'après Durand Delga, 1969.



## Première Partie : Caractéristiques physique de la zone d'étude

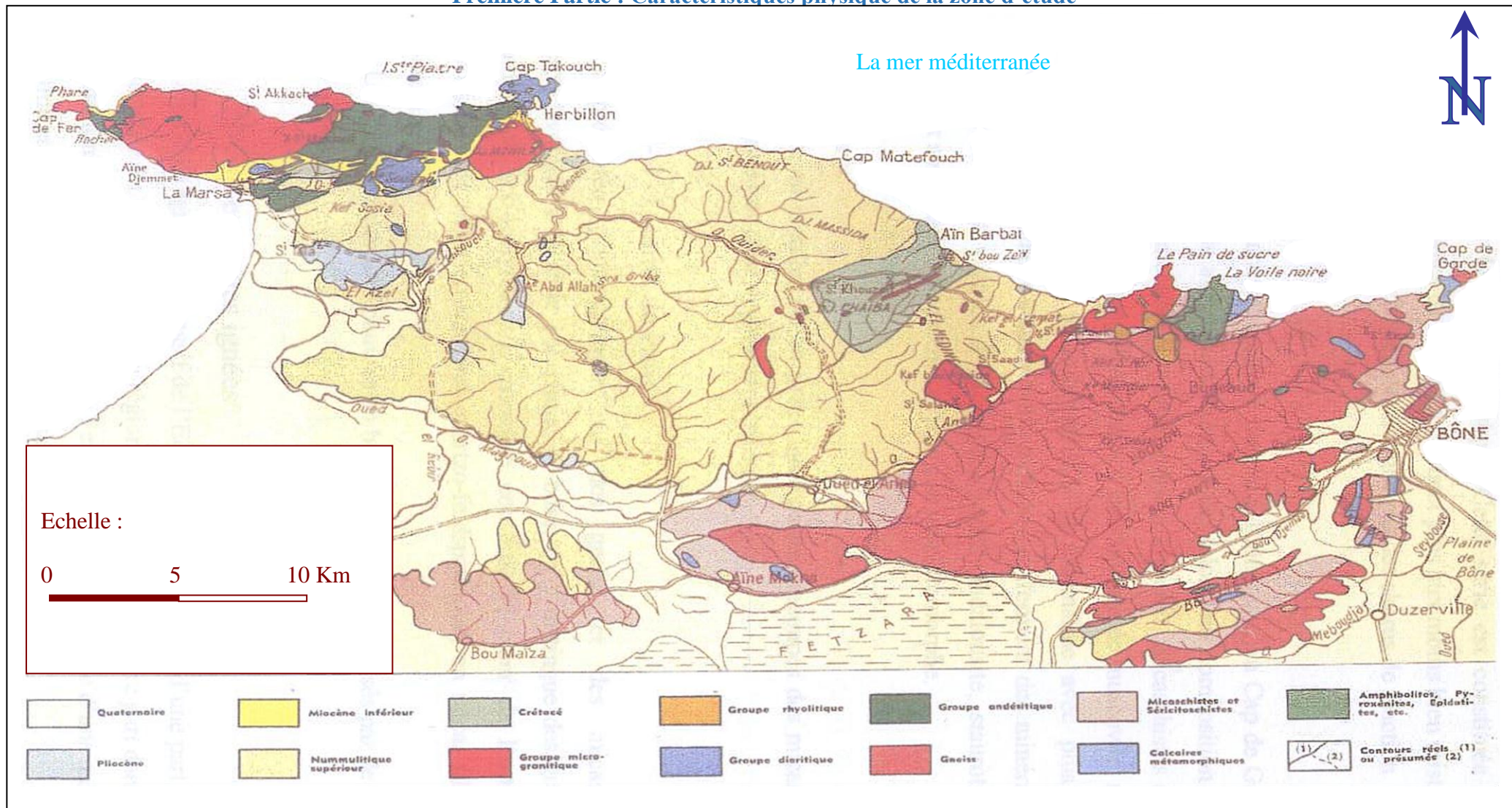


Fig.8 ■ Carte géologique schématique du massif de l'Edough, (Hilly, 1962).

Le contact entre cette série et la série gneissique de base est parallèle à la foliation régionale (*Hammor , 1992*).

### **III. 1. 2. 3 L'unité de base :**

On y distingue des gneiss clairs, des gneiss sombres et des leptynites. L'ensemble constitue le cœur de l'anticlinal et est observé à la périphérie grâce aux accidents tectoniques.

Cette unité gneissique est riche en matériel quartzo-feldspathiques, 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.

Quant aux gneiss sombres, on les trouve à la périphérie du massif tel que le Cap de Garde, au Nord du massif de Beleleita 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.

### **III. 1. 3 : 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

#### **III. 1. 3. 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*).

#### **III. 1. 3. 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 grès 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.

Quant aux groupes dioritique et andésitique, ils ne se situent pas exactement dans le massif de l'Edough, mais plutôt du côté du Cap de Fer et de Chetaïbi.

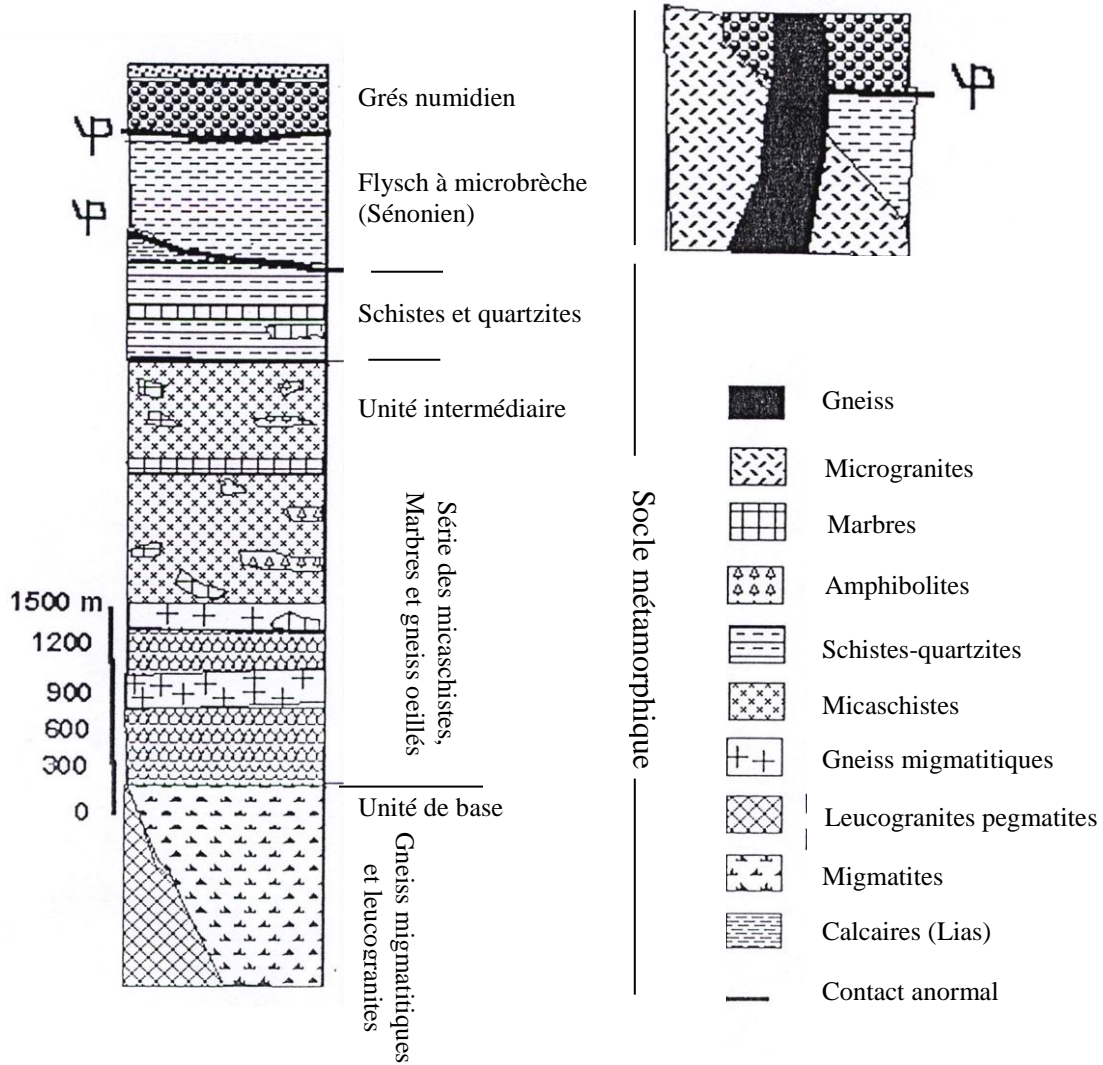


Fig.9: Colonne lithologique du massif de l'Edough (D'après Hammor, 1992)

**III. 1. 4 : Les roches sédimentaires :**



On distingue deux types de flyschs recouvrant partiellement le massif :

#### **III. 1. 4. 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 mince couches pelitiques dans les banc de grés très minces à la base, forment de grosses barres au sommet de la série (Laouar, 2002).

Les flyschs numidiens reposent sur les flyschs sénonien et sont séparés d'eux par une zone bréchique intensément silicifiés et chloritisé.

#### **III. 1. 4. 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 noir bleuté devenant verdâtre suite à l'altération et intercalé avec 20 à 50 cm de 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*).

#### **III. 1. 5 : La tectonique :**

Au moyen de photographie aériennes et de levés géophysiques (*EREM*) à travers le massif de l'Edough, Aissa ; 1985 a classé les accidents tectoniques en :

##### **III. 1. 5.1 : Accidents tectoniques importants :**

Une première famille dont l'orientation varie de NW-SE à WNW-ESE avec la direction la plus fréquente de N120° à N150° et que l'orientation N140° à N150° d'un bon nombre de dykes permet de conclure que cette famille correspondrait à un système de failles décrochantes dextres (*mont Eddikra, Kef Guelâa*).

Une deuxième qui semble être conjuguée à la première, dirigée NNE-SSW (*direction fréquente N28E en moyenne*), cette famille correspondrait à un système de failles décrochantes sénestres. Il y a aussi les mêmes accidents au NW du massif dans les petits massifs microgranitiques.

Des rares accidents tectoniques profonds d'orientation Est-Ouest (*au Sud de la Voile Noire et au Sud de Koudiet Tenfous*) et d'autres au Sud de Karezas (*A. Sattor, 1968*) de pendage 55° à 70° vers le sud, affectées par une silicification et d'une tourmalinisation.

##### **III. 1. 5. 2 : Petites fractures :**

Dans les roches métamorphiques, ce sont des petites failles normales et inverses d'étendue relativement faible (*horizontale et verticale*) et de pendage variant entre 45° et 90°. Près des filons métallifères elles sont remplies par du quartz et de rares sulfures.

##### **III. 1. 6 : La minéralisation :**



La métallogénie du massif de l'Edough se distingue particulièrement par les gîtes polymétalliques d'Aïn Barbar et des gisements ferrifères et arseno-wolframifères du versant Sud. Les autres minéralisations essentiellement filoniennes recoupe le socle et sa couverture, sont d'une importance moindre. Elles se sont probablement développées lors de la circulation des fluides hydrothermaux le long du réseau de fractures liées probablement à la mise en place des roches microgranodioritique et rhyolitiques. (Laouar,2002)

### III.2. Géologie locale :

#### III.2.1 Introduction

La région de Berka zerga fait partie du massif de beliliéta. L'étude géologique du bassin versant de la décharge permet la mise en évidence de plusieurs formations géologiques à savoir de bas en haut dans un ordre chronologique de formation, le métamorphisme (Le gneiss, Les micaschistes et Les calcaires cristallins), et les sédimentaires (le calcaire marno gréseux, les argiles numidiennes, le grès numidien, les éboulis de pentes et les alluvions).

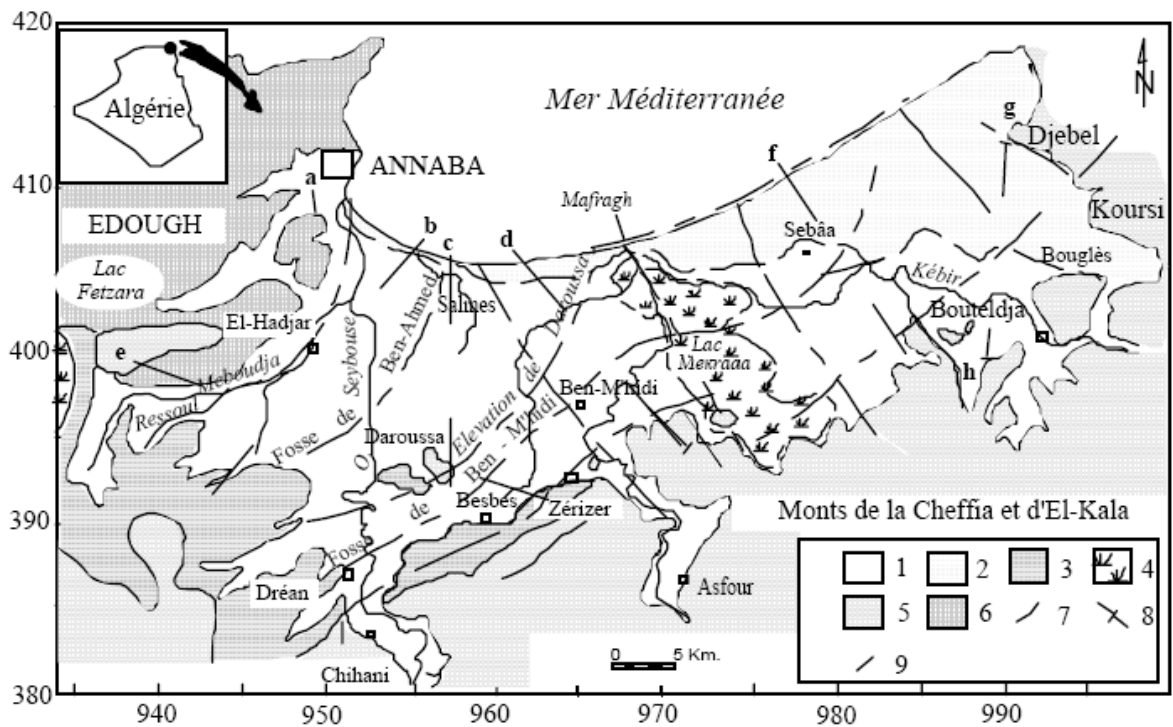


Fig. 10 : Situation Géologique Des Plaines De La Région D'Annaba-Bouteldja (D'après Strojexpport, 1975, modifié par A. HANI 2002).

**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 ; 9 : Tracé de coupe.

### **III. 2. 2 La lithologie des formations géologiques :**

#### **III. 2. 2 .1 Les roches métamorphiques :**

On distingue trois variantes de roches :

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

#### **Les Gneiss**

Le massif gneissique du Berka Zerga est constitué essentiellement de roches à grains moyens à grossiers montrant une foliation souvent nette, caractérisé par des lits généralement de teinte sombre, riche en minéraux ferromagnésiens alternant avec des lits claires de quartz et de feldspath.

Ce massif est surmonté par une couche d'environ 1m d'épaisseur de gneiss altéré, constitué essentiellement de grains de quartz et de feldspath, ce qui donne à cette couche un aspect de sable argileux.

Les gneiss, c'est la roche dominante à l'affleurement. Elle constitue la plus grande partie du site de la décharge, ils apparaissent depuis l'entrée jusqu'au l'altitude 191 m. Couvrant ainsi toute la rive droite de l'oued El Ghereg.

Ces gneiss ont une couleur sombre, généralement orientée NW° 80°. On signale la présence des filons de quartz de l'ordre de 1 à 5 cm d'épaisseur ; parfois ils sont massifs.

Il s'agit des Gneiss a tourmaline avec des lentilles de cipolin (calcaire cristallin plus au moins marbre). D'après l'étude pétrographique, on peut dire qu'il s'agit des gneiss à migmatites.

Du point de vue hydrogéologique, les gneiss altérés peuvent constitués le siège d'une nappe aquifère.

#### **La série des micaschistes**

C'est une série de roche métamorphique a grains généralement moyens a schistosité et foliation marquées. Riche en feuillés de micas, visible a l'œil nu, d'où elle se divise facilement en plaquettes (quelques mm ou cm).

Cette série apparaît au niveau du quai de la décharge. 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. Elle forme une bande étroite d'environ une centaine de mètres de long.

### **Les calcaires cristallins**

Ces calcaires affleurent au niveau des carrières. Ce sont des calcaires de couleur bleutée, dur à la cassure et généralement massifs. Au niveau du bassin versant de la décharge il existe deux pointements de calcaires cristallins exploités (carrières) pour des agrégats.

L'épaisseur des calcaires est estimée à environ une cinquantaine de mètres de calcaires massifs, mais il existe des niveaux très réduits de calcaires associés à la série des alternances des micaschistes.

Ce sont des roches calcaires à cristaux de calcite visible à la loupe ou à l'œil nu, ayant fréquemment des cassures translucides à grain saccharoïde.

### **III. 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 éboulis de pente (versants)
- Les alluvions (des oueds, la plaine)

#### **Les calcaires marno gréseux (Flysch)**

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

Cette formation s'est déposée sur le calcaire cristallin cité ci-dessus. L'épaisseur est évaluée à environ 150 mètres. Parfois la présence des éboulis de grès sur les versants rend difficile l'observation de la continuité.

#### **Les argiles et grès numidiennes**

Les dépôts de numidien très répandus dans la partie occidentale du massif de Beleliéta comprennent essentiellement des argilites schisteuses et des grès ; les argilites dominent à la base, admettant des bancs peu épais de quartzite et de grès, tandis que dans la partie supérieure de la formation on observe surtout de grosses barres de grès quartzeux séparées par des lits argileux.

#### **Les Eboulis De Pente (Versants)**

Dans ce secteur d'étude on remarque de bas en haut la succession des formations suivantes :

- A la base un substratum gneissique;

## Première Partie : Caractéristiques physique de la zone d'étude

- Eboulis très grossiers très volumineux ( $1\text{m}^3$ ) emballés dans une arène gneissique;
- Eboulis relativement moins grossiers, uniquement formés de grès numidiens. Dans la partie inférieure (1.50m), les blocs de grès présentent souvent une pelliculaire blanchâtre. Ceux de la partie haute (1m) ont gardé leur teinte marron.

### **Les alluvions (des Oueds et la plaine)**

Couche grise, sableuse, reposant en discordance sur les formations antérieures d'épaisseur variable (quelques décimètres).

Du point de vue Age, (L. Joleaud 1936) les a cartographiés soit comme dépôts anciens, sableux ou limoneux, de la gueraa Fetzara (Pléistocène récent), soit comme conglomérats de Numidie (Eocène supérieur, Oligocène).

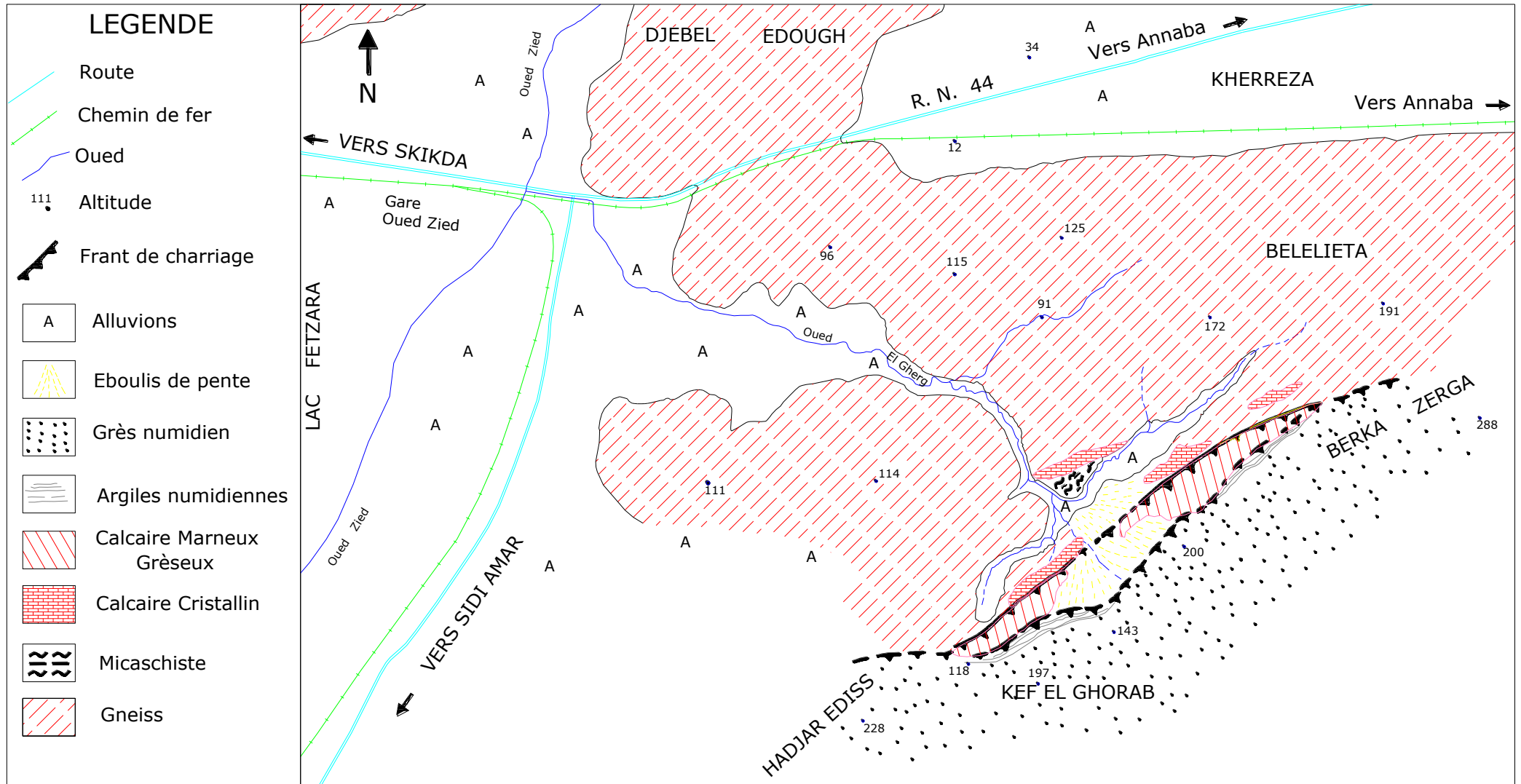


Fig. 11 : CARTE GEOLOGIQUE DE LA REGION DE BERKA ZERGA

## CONCLUSION

D'après les levés géologiques effectués sur le terrain durant l'étude d'impact de la décharge publique, ainsi que, les études réalisées dans les régions limitrophes notamment sur le massif de l'Edough et le lac Fetzara on constate : qu'il s'agit d'un massif métamorphique d'âge ancien (primaire) qui a été affecté ultérieurement par la phase alpine d'âge Miocène inférieur.

Aujourd'hui, on rencontre un socle métamorphique occupe le substratum et donne lieu à un socle compact et rigide surtout la partie profonde non exposée aux conditions climatiques, le socle métamorphique possède une couverture d'âge Crétacé constituée de calcaire marneux gréseux (vila, 1980) et une deuxième couverture très importante, c'est la nappe numidienne déposée durant la phase du miocène inférieur.

Une fois le grès déposé (Djebel Hadjar Ediss et Berka Zerga) la région a connu une régression de la mer vers le Nord et vers le Sud (lac Fetzara) ; Conséquence de ce mouvement c'est l'exposition de la région aux conditions climatiques et ruissellement au niveau de la surface et à des mouvements d'équilibre (néotectonique) en profondeur. Pour la région de Berka Zerga, il résulte la naissance d'un bassin versant avec plusieurs cours d'eau orientés vers le lac Fetzara.

## Chapitre IV : Hydroclimatologie

### IV.1. Introduction

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

L'étude hydroclimatologique nécessite des renseignements bien précis des différents facteurs qui régissent les variations climatiques. Au préalable. Quelques informations concernant les facteurs hydroclimatiques de la région ont été déterminées.

### IV.2 Caractéristiques climatiques

#### IV.2.1 Cadre climatique

Les données recueillies de la station des Salines (Annaba) et de l'Agence Nationale des ressources Hydrauliques de Constantine (A.N.R.H), sont sous forme de moyennes mensuelles et annuelles des hauteurs de pluie pour une période de 25 ans (1981-82/2005-06), 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 est 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 de deux stations qui sont représentés dans le tableau suivant :

**Tableau. 5 :** Coordonnées géographiques des stations météorologiques.

Stations	Coordonnées Lambert (km)		Altitude (m)
	X	Y	
<b>Berrahal</b>	923.35	405.56	33
<i>Les Salines</i>	955.8	403.8	03

La région de Beka zerga est soumise à un climat méditerranéen, caractérisé par deux saisons, l'une humide et douce et l'autre chaude et sèche.

#### IV.2.2 Analyse des précipitations

**Tableau. 6 :** Précipitations annuelles (mm) et coefficients pluviométriques des stations de Berrahal, et les Salines.

<i>Année hydrologique</i>	<i>Hauteur annuelle des precipitations, stat. De Berrahal P (mm)</i>	<i>Hauteur annuelle des precipitations, stat. Des Salines P (mm)</i>	<i>Coefficient pluviometrique pour la Stat. De Berrahal</i>	<i>Coefficient pluviometrique pour la Stat. Des Salines</i>
<i>1981/82</i>	<i>833,7</i>	<i>760,4</i>	<i>1,24</i>	<i>1,11</i>
<i>1982/83</i>	<i>634</i>	<i>678,1</i>	<i>0,65</i>	<i>0,99</i>
<i>1983/84</i>	<i>756,2</i>	<i>937,8</i>	<i>1,12</i>	<i>1,37</i>
<i>1984/85</i>	<i>879,1</i>	<i>927,0</i>	<i>1,16</i>	<i>1,35</i>
<i>1985/86</i>	<i>573,9</i>	<i>543,0</i>	<i>0,85</i>	<i>0,79</i>
<i>1986/87</i>	<i>847</i>	<i>909,3</i>	<i>1,26</i>	<i>1,32</i>
<i>1987/88</i>	<i>519,6</i>	<i>491,0</i>	<i>0,77</i>	<i>0,72</i>
<i>1988/89</i>	<i>454,7</i>	<i>557,0</i>	<i>0,67</i>	<i>0,81</i>
<i>1989/90</i>	<i>473,7</i>	<i>535,0</i>	<i>0,70</i>	<i>0,78</i>
<i>1990/91</i>	<i>704,9</i>	<i>689,3</i>	<i>1,05</i>	<i>1,00</i>
<i>1991/92</i>	<i>687,9</i>	<i>684,6</i>	<i>1,02</i>	<i>1,00</i>
<i>1992/93</i>	<i>660,6</i>	<i>644,1</i>	<i>0,98</i>	<i>0,94</i>
<i>1993/94</i>	<i>650,6</i>	<i>519,7</i>	<i>0,95</i>	<i>0,76</i>
<i>1994/95</i>	<i>547,6</i>	<i>548,3</i>	<i>0,81</i>	<i>0,80</i>
<i>1995/96</i>	<i>757,6</i>	<i>807,0</i>	<i>1,12</i>	<i>1,18</i>
<i>1996/97</i>	<i>632,4</i>	<i>422,8</i>	<i>0,94</i>	<i>0,62</i>
<i>1997/98</i>	<i>749,5</i>	<i>941,0</i>	<i>1,11</i>	<i>1,37</i>
<i>1998/99</i>	<i>748,1</i>	<i>841,0</i>	<i>1,11</i>	<i>1,23</i>
<i>1999/2000</i>	<i>622,9</i>	<i>559,6</i>	<i>0,92</i>	<i>0,82</i>
<i>2000/2001</i>	<i>605,1</i>	<i>550,7</i>	<i>0,90</i>	<i>0,80</i>
<i>2001/2002</i>	<i>503,5</i>	<i>460,3</i>	<i>0,75</i>	<i>0,67</i>
<i>2002/2003</i>	<i>937,7</i>	<i>842,1</i>	<i>1,39</i>	<i>1,23</i>
<i>2003/2004</i>	<i>754,5</i>	<i>708,0</i>	<i>1,11</i>	<i>1,03</i>
<i>2004/2005</i>	<i>1068,9</i>	<i>987,7</i>	<i>1,58</i>	<i>1,44</i>
<i>2005/2006</i>	<i>590,7</i>	<i>612,5</i>	<i>0,83</i>	<i>0,89</i>

La pluie est un facteur climatique très important qui conditionne l'écoulement saisonnier et par conséquent le régime des cours d'eau 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



## Première Partie : Caractéristiques physique de la zone d'étude

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.

Avec :

$CP$  : coefficient pluviométrique.

$P$  : hauteur des pluies annuelles (mm).

$\bar{p}$  : moyenne annuelle pluviométrique (mm).

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

Le coefficient pluviométrique est en relation proportionnelle avec la pluviométrie (tableau n°5).

Nous avons deux cas : si

{	$CP > 1$	$\implies$	année excédentaire
	$CP < 1$	$\implies$	année déficitaire

*Remarque* : la pluviométrie annuelle moyenne ( $\bar{p}$ ) de chaque station est :

- Station de Berrahal :  $\bar{p} = 687.8$
- Station des Salines :  $\bar{p} = 686.3$

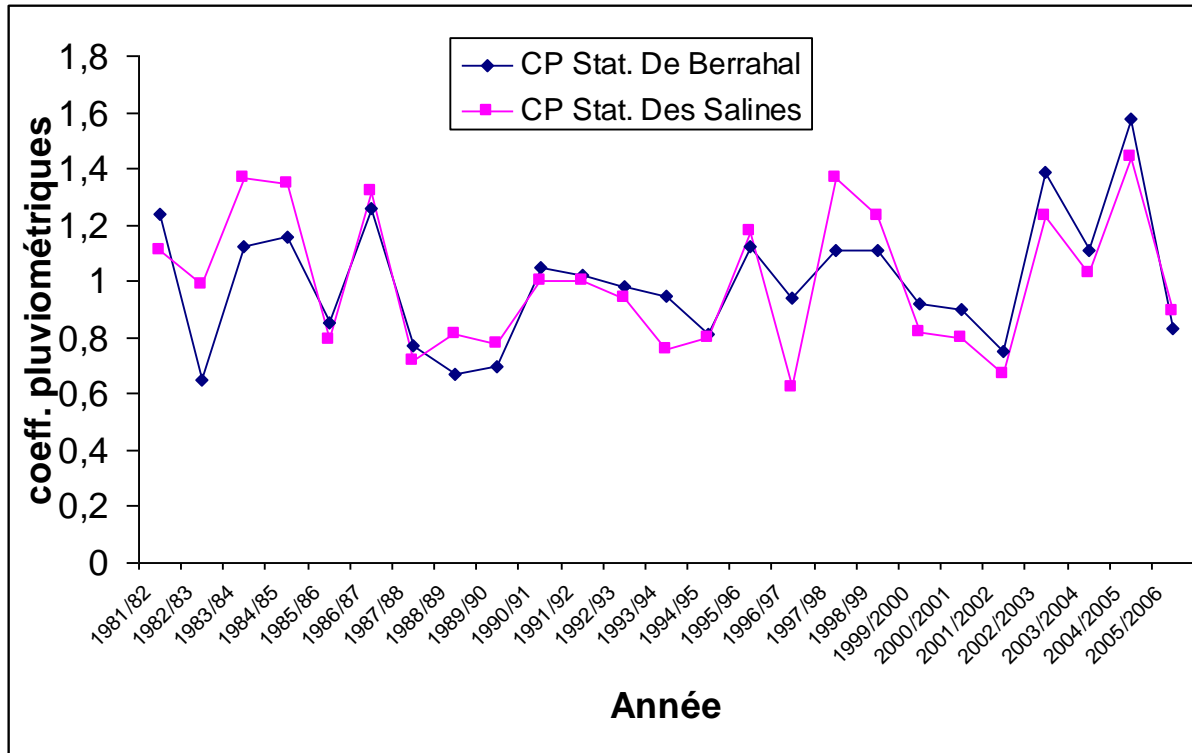


Fig.12 : Les variations des coefficients pluviométriques pour les stations de Berrahal, et les Salines (1981/82-2005/06).

D'après ce diagramme on remarque que les années déficitaires communes pour les deux stations sont plus nombreuses que les années excédentaires (fig. 12).

Les années déficitaires communes sont : 1982/83, 85/86, 87/88, 88/89, 89/90, 93/94, 94/95, 96/97, 99/2000, 2000/01, 2001/02, 2005/06.

Les années excédentaires communes entre les deux stations sont : 1983/84, 84/85, 86/87, 95/96, 97/98, 98/99, 2002/03, 2003/04, 2004/05.

### IV.2.3. Variations des précipitations dans le temps

#### IV.2.3.1. Variations annuelles

La pluviométrie la plus faible a été enregistrée au cours de l'année 1988/89 pour la station de Berrahal 454.7 mm, pour la station des Salines c'est l'année 1996/97 qui est la plus sèche avec un taux de 422.8 mm, (fig. 12).

En outre la pluviométrie maximale a été enregistrée en 2004/2005 avec un taux de 1068.9 mm dans la station de Berrahal, et 987.7 mm à la station des Salines.

La région d'étude reçoit des précipitations annuelles moyennes de l'ordre de 686,292 mm (Salines), 687,77 mm (Berrahal), et des températures annuelles moyennes de l'ordre de 17,91°C (Salines).

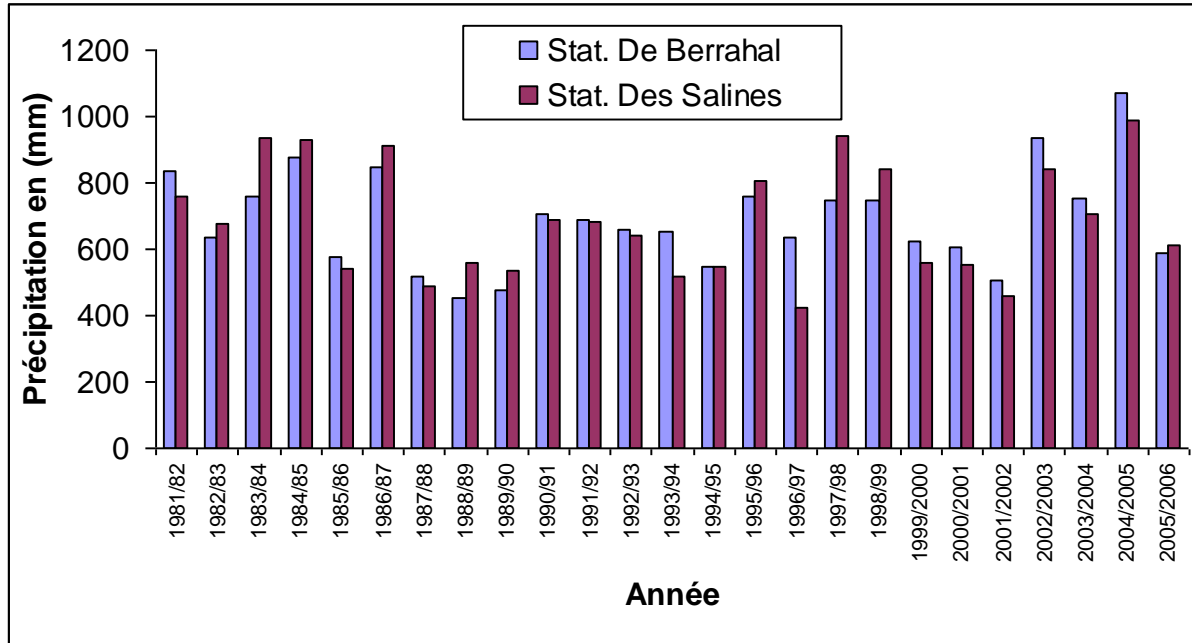


Fig.13: Variations des précipitations annuelles (en mm) pour les stations de Berrahal et les Salines, (1981/82-2005/06)

#### IV.2.3.2. Variations moyennes mensuelles

Les données des précipitations moyennes mensuelles pour les deux stations (1981/82-2005/06) sont portées sur le tableau suivant :

**Tableau. 7 :** Précipitations moyennes mensuelles (en mm), 1981/82-2005/06.

Mois \ Stations	Stat. de Berrahal	Stat. des Salines
Septembre	30,1	36,37
Octobre	58	71,65
Novembre	94,5	88,12
Décembre	133,9	124,68
Janvier	111,4	105,35
Février	80,7	79,24
Mars	58,2	60,92
Avril	60,3	57,47
Mai	38,8	37,06
Juin	12	12,51
Juillet	3,5	2,37
Août	6,3	10,54

La distribution des précipitations moyennes mensuelles (Fig.12) nous montre ;

- Le mois le plus pluvieux est celui de décembre pour les deux stations, avec 133.9 mm pour la station de Berrahal, 124.68 mm pour la station des Salines.
- Le mois le plus sec est celui de juillet pour les deux stations, dont on a enregistré 3.5mm pour la station de Berrahal, 2.37 mm pour la station des Salines.

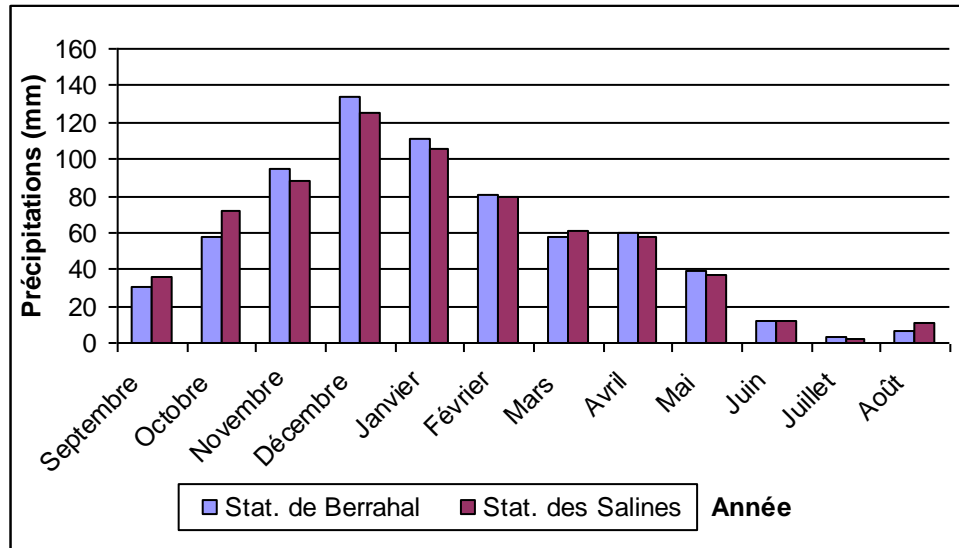


Fig.14 : Variations des précipitations moyennes mensuelles (en mm) pour les stations de Berrahal et les Salines, (1981/82-2005/06).

#### IV.2.3.3. Variations des précipitations saisonnières

Les quatre saisons de l'année sont :

- L'automne (septembre, octobre et novembre).
- L'hiver (décembre, janvier et février).
- Le Printemps (mars, avril et mai).
- L'été (juin, juillet et août).

Les résultats du tableau n°7 montrent que l'hiver est la saison la plus pluvieuse pour les deux stations : Berrahal et les Salines, avec des taux variant entre 47.4 % et 45.06 % respectivement.

L'été correspond à la saison sèche avec des pourcentages variant entre 3.16 % et 3.7 %, pour les stations de Berrahal et les Salines respectivement.

L'automne est une saison légèrement pluvieuse, pour les deux stations.

**Tableau. 8 :** précipitations moyennes saisonnières (en mm) pour les stations de Berrahal et les Salines, (1981/82-2005/06).

Saisons Stations	Automne	Hiver	Printemps	Eté
<b>Berrahal</b>	182.6 mm	326 mm	157.3 mm	21.8 mm
	26.55 %	47.4 %	22.87 %	3.16 %
<b>Les Salines</b>	196.14 mm	309.27 mm	155.45 mm	25.42 mm
	28.58 %	45.06 %	22.65 %	3.7 %

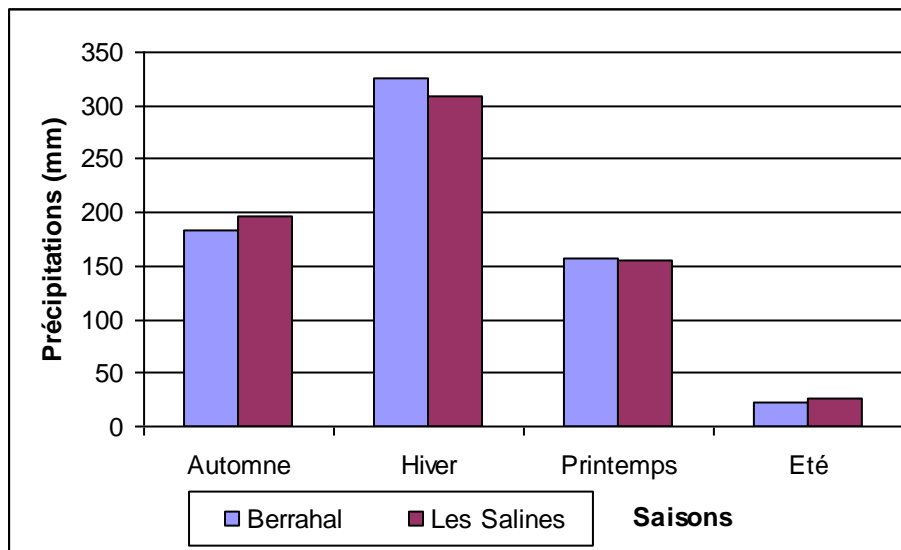


Fig.15: Variations des précipitations moyennes saisonnières (en mm) pour les stations de Berrahal, et les Salines.

#### IV.2.4. 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, nous a menés à utiliser les données de température de la station des Salines (la seule station qui a une série complète) et cela pour une période d'observation de 25 ans aussi, de 1981/82 jusqu'au 2005/2006.

#### IV.2.4.1. Variations moyennes mensuelles

Les données sont montrées dans le tableau suivant :

**Tableau. 9** : Températures moyennes mensuelles pour la station des Salines (en °C), 1981/1982-2005/2006.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
<b>Station des Salines</b>	23,1	20,1	15,7	13,3	11,3	11,6	13,2	15,3	18,3	22	25,2	25,9

D'après ces résultats on remarque que :

- Les mois les plus chauds sont ceux de juillet et d'août avec des températures de 25.2 et 25.9°C respectivement.
- Les mois les plus froids sont ceux de janvier et février avec des températures de 11.3 et 11.6 respectivement. (fig. 16).

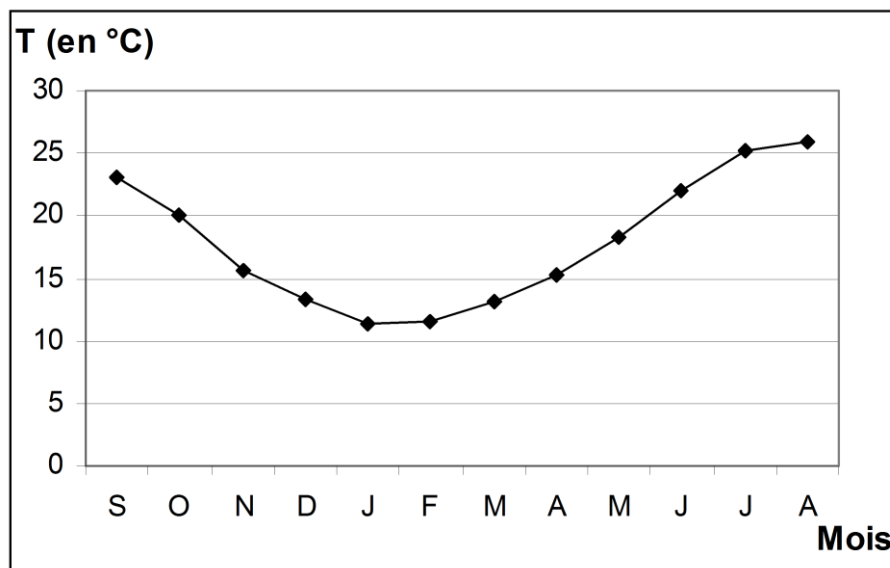


Fig.16 : Variations des températures moyennes mensuelles (en °C) pour la station des Salines (1981/1982-2005/2006).

#### IV.2.4.2. Diagrammes ombrothermiques

Comme on a mentionné précédemment, le manque des données des températures pour les autres stations nous a conduits à utiliser les températures de la station des Salines pour tracer les diagrammes ombrothermiques.

Pour la station des Salines (Fig. 17), le diagramme montre que la période sèche débute de la fin du mois du mai jusqu'à la fin du mois de septembre. La période humide commence de la fin du mois de septembre jusqu'au mois de mai.

Pour la station de Berrahal (Fig. 18), la période sèche débute de la fin du mois de mai et s'étend jusqu'au début du mois d'octobre. Alors que la période humide commence du mois d'octobre jusqu'au mois de mai.

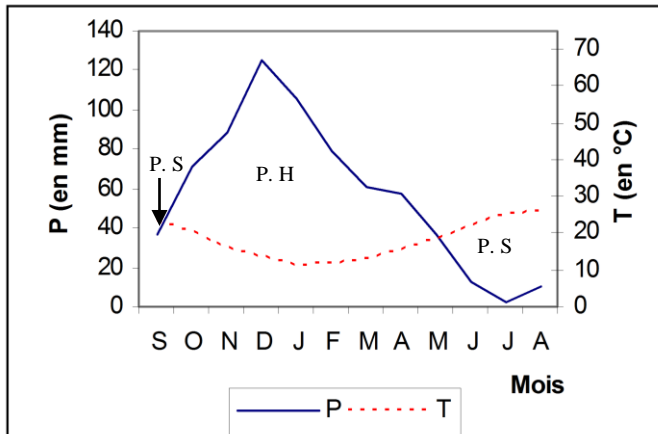


Fig. 17 : Digramme ombrothermique pour la station des Salines.

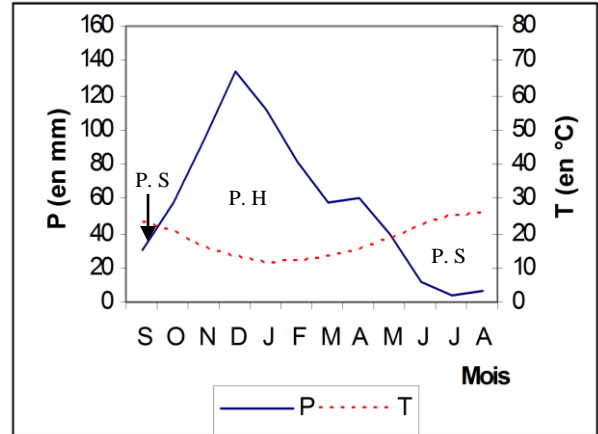


Fig.18 : Digramme ombrothermique pour la Station de Berrahal

*P. H : période humide*  
*P. S : période sèche.*

#### IV.2.5. L'humidité

Nous disposons des valeurs moyennes mensuelles et annuelles de l'humidité relative de la station des Salines, avec une moyenne annuelle de l'ordre de 74.65 %, sur une période d'observation de 25 ans (1981/82-2005/06). En général les moyennes mensuelles ne descendent pas au-dessous de 70%.

On remarque que le mois le plus humide est celui de décembre avec une humidité de 77.32 %, par contre le mois le moins humide est celui de juin avec une valeur de 70.14 % (tableau. 10).

**Tableau.10** : Variations des humidités relatives moyennes mensuelles (en %) de la station des Salines (1981/1982-2005/2006).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Humidités moyennes mensuelles (%)	72,35	74,79	76,13	77,32	78,81	76,9	75,1	74,4	75	72,91	70,1	71,9

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 1996/97 avec un taux de 71 % (tabl. 11).

**Tableau. 11** : Variations des humidités relatives moyennes annuelles (en %) de la station des Salines (1981/1982-2005/2006).

Année	Humidité relative (%)	Année	Humidité relative (%)
1981/82	74,78	1994/95	73,25
1982/83	72,49	1995/96	73,92
1983/84	75,44	1996/97	71,00
1984/85	76,92	1997/98	75,25
1985/86	74,75	1998/99	74,33
1986/87	73,58	1999/2000	73,92
1987/88	72,50	2000/2001	73,33
1988/89	72,50	2001/2002	74,08
1989/90	75,83	2002/2003	74,67
1990/91	76,42	2003/2004	76,53
1991/92	76,00	2004/2005	77,75
1992/93	77,50	2005/2006	75,67
1993/94	73,75		

### IV.3 Le bilan hydrique

Le bilan hydrique est l'étude comparée de la lame d'eau précipitée sur une surface donnée et des différentes formes de transfert de cette eau : soit par écoulement, infiltration ou évaporation.

L'équation du bilan s'écrit :

$$P = R + E + I$$

Tel que : P : précipitation moyenne annuelle (mm).



R : ruissellement de surface moyen annuel (mm).

E : évapotranspiration moyenne annuelle (mm).

I : infiltration moyenne annuelle (mm).

### IV.3.1. Estimation des paramètres du bilan

#### IV.3.1.1. 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 :

#### IV.3.1.2. 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 :

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

Tel que : ETP : évapotranspiration potentielle du mois (en mm).

T : température moyenne mensuelle de la période (en °C).

I : indice thermique annuel qui représente la somme des indices mensuels (i) :

$$I = \sum_{i=1}^{12} i \quad \text{Avec : } i = \left( \frac{t}{5} \right)^{1.5}$$

$$a = \left( \frac{1.6}{100} \right) I + 0.5$$

K : coefficient d'ajustement mensuel lié à la latitude.

### IV.3.1.3. 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 :

La formule de Turc ; qui permette d'évaluer directement l'ETR annuelle à partir de la hauteur annuelle de la pluie et de la température moyenne annuelle :

Avec : ETR : évapotranspiration réelle en mm/an.

P : hauteur annuelle de pluie en mm.

L : pouvoir évaporant, est une limite vers laquelle tend l'ETR lorsque P devient grand.  $L = 300 + 25t + 0.05t^3$

t : température annuelle en °C. 17.9

On a pour la station de Berrahal : P = 687.7 mm, t = 17.9 °C

Remarque : la température (t) utilisée pour les calculs et le bilan hydrique est celle de la station des Salines.

$$\implies L = 300 + 25(17.9) + 0.05 (17.9)^3 = 1034.26$$

$$ETR = \frac{687.7}{\sqrt{0.9 + \frac{(687.7)^2}{(1034.26)^2}}} \implies \boxed{ETR = 593.86 \text{ mm}}$$

Pour la station des Salines : P = 686.28 mm, t = 17.9 °C

$$\implies ETR = \frac{686.28}{\sqrt{0.9 + \frac{(686.28)^2}{(1034.26)^2}}} \implies \boxed{ETR = 593.15 \text{ mm}}$$

La méthode du bilan d'eau selon C.W. Thornthwaite, qui est basée sur la notion de 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 la région de Berrahal on prend RFU = 100 mm.

## Première Partie : Caractéristiques physique de la zone d'étude

La satisfaction de l'ETP est prioritaire sur l'écoulement, c'est-à-dire avant qu'il y ait écoulement il faut avoir satisfait ce qu'on appelle 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 n°12 et n°13.

Première Partie : Caractéristiques physique de la zone d'étude

**Tableau. 12 :** Le bilan hydrique pour la station de Berrahal d'après la méthode de C. W. Thornthwaite.

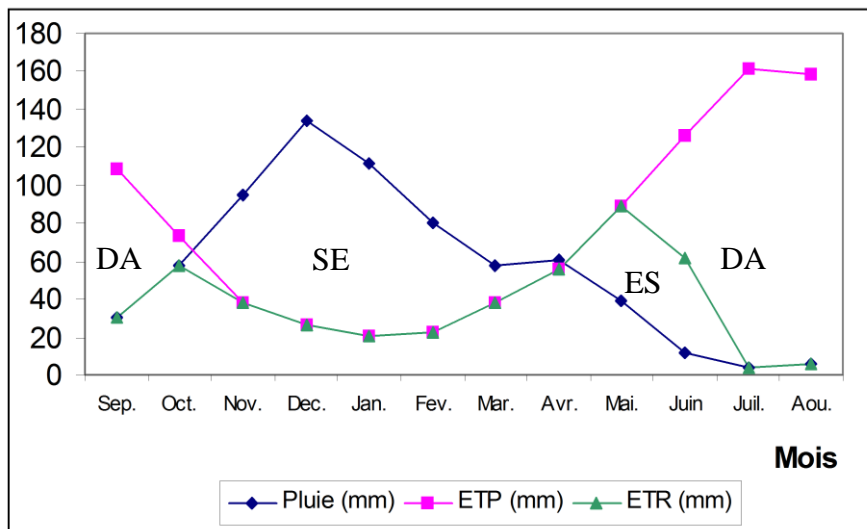
Mois \ Paramètres	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fev.	Mar.	Avr.	Mai.	Juin	Juil.	Aou.	Total
<b>Pluie (mm)</b>	30,1	58	94,5	133,9	111,4	80,7	58,2	60,3	38,8	12	3,5	6,3	<b>687,70</b>
<b>T (°C)</b>	23,1	20,1	15,7	13,3	11,3	11,6	13,2	15,3	18,3	22	25,2	25,9	<b>T<sub>moy</sub>=17,91</b>
<b>I</b>	9,93	8,06	5,56	4,33	3,39	3,53	4,28	5,35	7	9,22	11,31	11,78	<b>83,74</b>
<b>K</b>	1,05	0,91	0,75	0,7	0,73	0,78	1,02	1,15	1,32	1,33	1,33	1,24	
<b>ETP (mm)</b>	108,68	72,92	38,14	26,23	20,27	22,73	37,7	55,77	89	125,84	161,56	158,42	<b>917,26</b>
<b>RFU (mm)</b>	0	0	56,36	100	100	100	100	100	49,8	0	0	0	
<b>ETR (mm)</b>	30,1	58	38,14	26,23	20,27	22,73	37,7	55,77	89	61,8	3,5	6,3	<b>449,54</b>
<b>Exc. (mm)</b>	0	0	0	64,03	91,13	57,97	20,5	4,53	0	0	0	0	<b>238,16</b>
<b>DA (mm)</b>	78,58	14,92	0	0	0	0	0	0	0	64,04	158,06	152,12	<b>467,72</b>

**Tableau. 13 :** Le bilan hydrique pour la station des Salines d'après la méthode de C. W. Thornthwaite.

Paramètres \ Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Juin.	Juil.	Aou.	Total
<b>Pluie (mm)</b>	36,37	71,65	88,12	124,68	105,35	79,24	60,92	57,47	37,06	12,51	2,37	10,54	<b>686,28</b>
<b>T (°C)</b>	23,1	20,1	15,7	13,3	11,3	11,6	13,2	15,3	18,3	22	25,2	25,9	<b>T<sub>moy</sub>=17,91</b>
<b>I</b>	9,93	8,06	5,56	4,33	3,39	3,53	4,28	5,35	7	9,22	11,31	11,78	<b>83,74</b>
<b>K</b>	1,05	0,91	0,75	0,7	0,73	0,78	1,02	1,15	1,32	1,33	1,33	1,24	
<b>ETP (mm)</b>	108,68	72,92	38,14	26,23	20,27	22,73	37,7	55,77	89	125,84	161,56	158,42	<b>917,26</b>
<b>RFU (mm)</b>	0	0	49,98	100	100	100	100	100	48,06	0	0	0	
<b>ETR (mm)</b>	36,37	71,65	38,14	26,23	20,27	22,73	37,7	55,77	89	60,57	2,37	10,54	<b>471,34</b>
<b>Exc (mm)</b>	0	0	0	48,43	85,08	56,51	23,22	1,7	0	0	0	0	<b>214,94</b>
<b>DA (mm)</b>	72,31	1,27	0	0	0	0	0	0	0	65,27	159,19	147,88	<b>445,92</b>

### IV.3.2. Représentation graphique du bilan d'eau

Les figures illustrent les résultats des tableaux ci-dessus. A titre d'exemple, l'observation de l'allure des courbes de la station de Berrahal (*Fig. 19*) montre que : l'évapotranspiration atteint son maximum au mois de juillet (161.56 mm), la même chose pour la station des Salines (*Fig. 20*), et ce qui provoque un déficit agricole nécessitant une irrigation. A partir du mois d'octobre on assiste à une reconstitution du stock qui devient important entraînant une RFU maximale (SE), et ceci jusqu'au mois d'avril où l'épuisement du stock commence.



**Légende :** DA : déficit agricole / SE : surplus d'eau / ES : épuisement du stock

Fig. N°19 : Bilan d'eau (Station Berrahal 1981-2006)

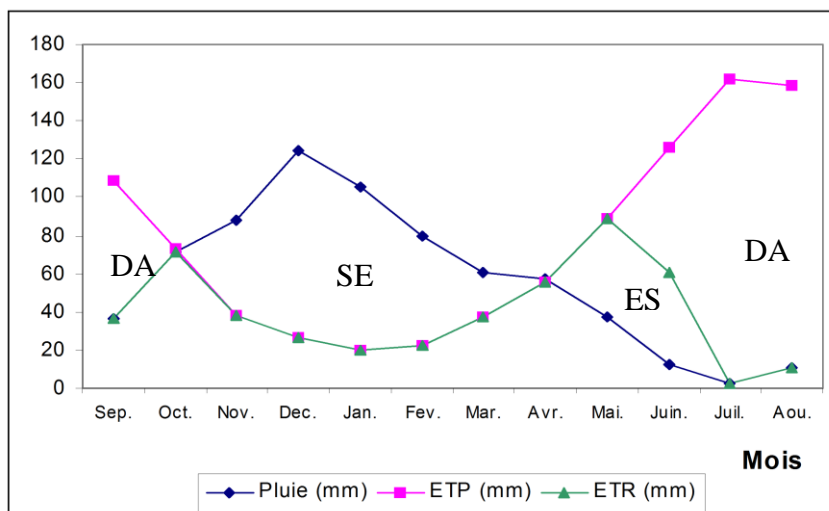


Fig. N° 20: Bilan d'eau (Station des Salines 1981-2006)

**Conclusion :**

Les données climatiques attribuent à la région un climat méditerranéen caractérisé par deux saisons distinctes l'une pluvieuse et humide et l'autre sèche et chaude.

La région d'étude reçoit des précipitations annuelles moyennes de l'ordre de 686,292 mm (Salines), 687,77 mm (Berrahal), et des températures annuelles moyennes de l'ordre de 17,91°C (Salines).

La reconstitution du stock commence au mois de novembre et s'achève au mois d'avril. L'épuisement du stock du sol s'observe au mois d'avril 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 445,92mm (Salines), 467,72mm (Berrahal).

## **Chapitre V : Hydrogéologie**

### **V.1 Introduction**

Selon la bibliographie et les études effectuées antérieurement dans la région d'étude, la carte hydrogéologie schématique de la région du la Fetzara nous a permis de distinguer un horizons aquifères à savoir; l'horizon aquifère des dépôts Alluvionnaires récents.

### **V.2 La nappe superficielle**

La nappe superficielle est répandue sur la zone d'étude. D'après, la géomorphologie de la région, on peut diviser la nappe en deux régions : la région Ouest, et la région Est.

La région ouest, est une nappe superficielle discontinue qui entoure le Lac Fetzara.

La région Est présente une nappe superficielle continue, localisée dans la plaine ouest d'El Hadjar ainsi que dans la région d'Allélick.

Ces deux régions communiquent entre elles à travers le cordon dunaire, dans la texture est différente (sables).

La lithologie de cette nappe est constituée par les alluvions récentes et actuelles (sables. Humus, argiles) avec une texture argilo-sableuse et argilo-limoneuse. L'épaisseur de l'aquifère varie généralement entre 2 m et 10 m, dont les potentialités hydrauliques sont limitées.

La capacité d'infiltration de l'eau dans le sol est moyenne, de l'ordre de 0,05 m/j à 0,10 m/j la nappe superficielle est activement exploitée par les forages et surtout par des puits. Son alimentation se fait par les précipitations, les crues des Oueds.

### **V.3 La piezométrie**

L'observation de la carte réalisée, nous montre d'après l'allure générale des courbes isopiezes, la nappe suit le modèle topographique (Fig. 21). L'allure des surfaces piezométriques montre des zones d'alimentation au Nord et au Sud-est de la nappe. Elles sont caractérisées par des courbes isopiezes 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'Edough et de Beleliéta. 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.

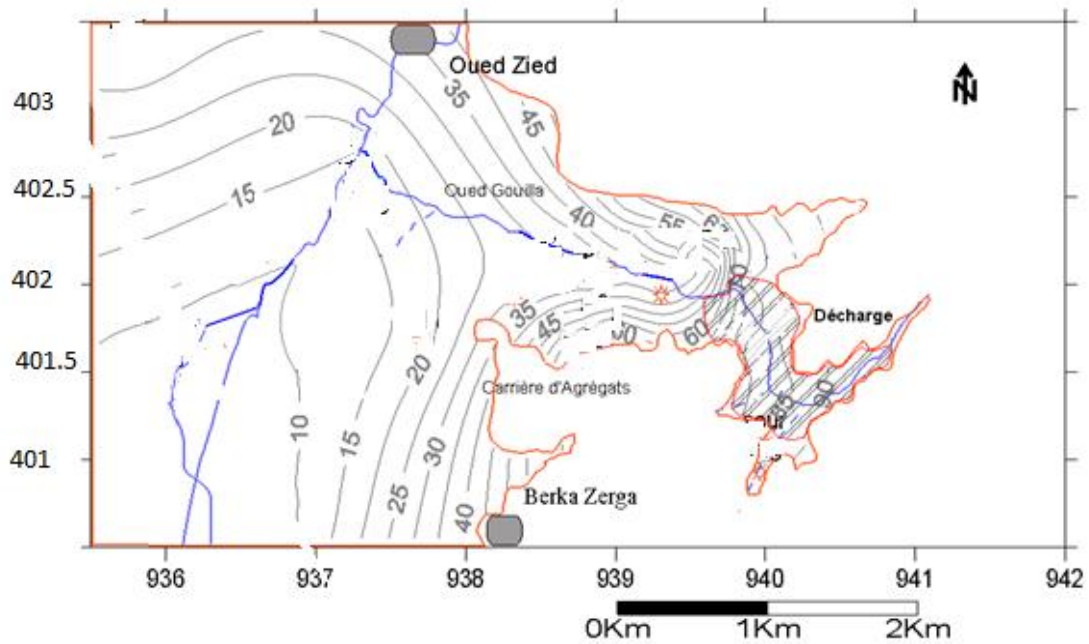


Fig. N° 21 Carte piézométrique Décembre 2006



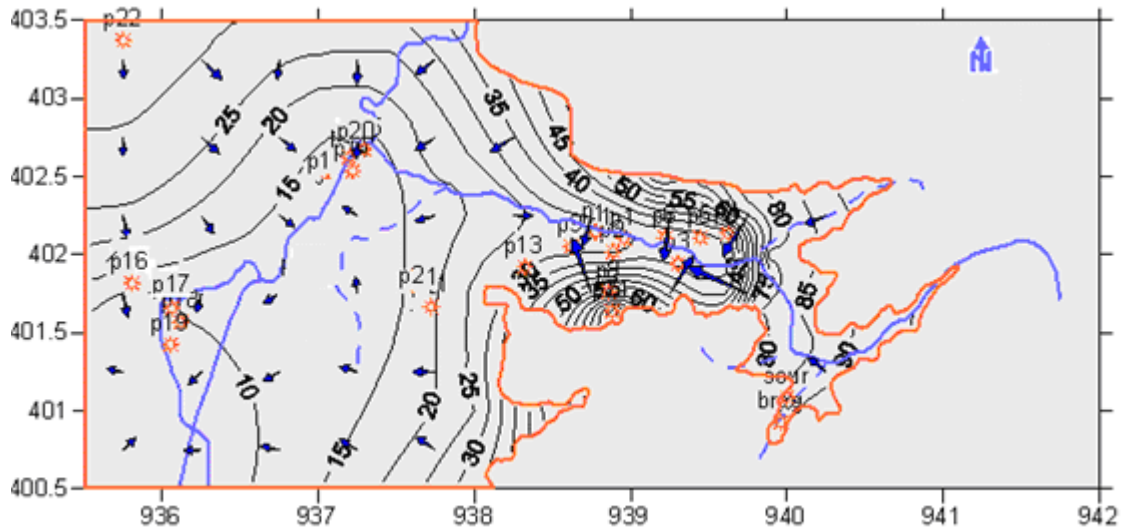


Fig. N° 22 Carte piézométrique mars 2007

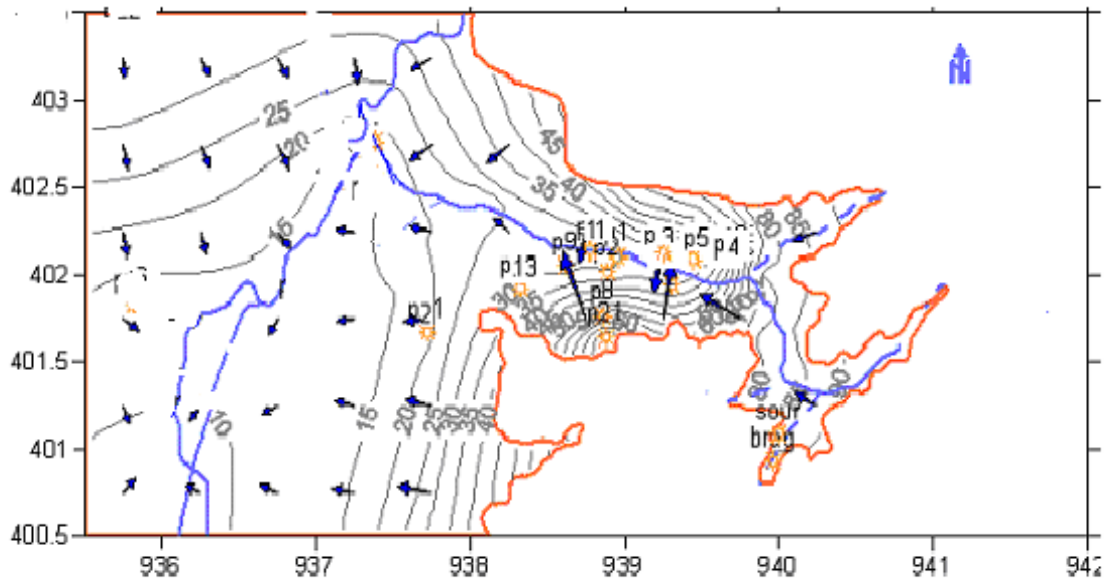


Fig. N° 23 Carte piézométrique juin 2007

## **Conclusion**

La nappe de l'Oued Zied est contenue dans des alluvions récentes et actuelles. Elle présente une texture argilo sableuse et argilo limoneuse. L'aperçu piézométrique nous montre que le sens de l'écoulement est orienté vers le centre de la plaine de l'Est vers l'Ouest (lac Fetzara).

L'alimentation des eaux souterraines se fait par les précipitations atmosphériques dans la période des hautes eaux et par le lac Fetzara pendant les basses eaux.

On note aussi, que la région est caractérisée par une forte perméabilité indiquant ainsi, un probable exposition de la nappe de toute forme de pollution.

## CHAPITRE VI HYDROCHIMIE

### VI.1 Introduction :

Toute étude hydrogéologique doit être complétée par une étude hydro chimique qui permet de fournir des précieux renseignements concernant les modifications des caractéristiques physico-chimiques du milieu récepteur.

L'interprétation des analyses a pour but de déterminer les caractéristiques physico-chimiques, afin de déterminer la genèse et l'origine des éléments chimiques (ZENATI, 1999 , HABES, 2011et ZAHY ,2012). Ainsi que les différents facteurs pouvant jouer un rôle primordial dans leur répartition.

Pour étudier l'évolution de la pollution, des mesures in situ ont été réalisé pour les paramètres physiques ( $T^{\circ}$ , pH, CE, la piézométrie), et pour les métaux lourds. Les analyses effectuées se rapportent aux eaux prélevées dans la plaine, ainsi les lixiviats qui proviennent de la décharge publique.

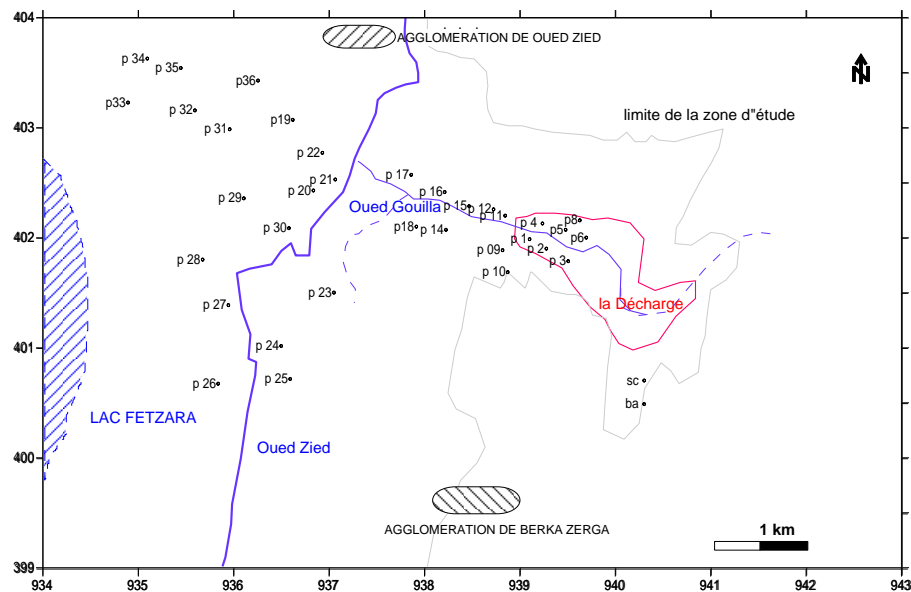


Fig. N° 24. Carte d'inventaire des points d'échantillonnage

### VI.2 Matériels et méthode d'échantillonnage

Les paramètres physiques ; la température, le pH, et la conductivité électrique sont mesurés in situ, à l'aide d'un appareil multi paramètres de marque WTW 197i, pour la piézométrie on mesure la cote par une sonde piézométrique.

Les métaux lourds sont dosés au laboratoire du DRA (direction de recherche appliquée), et au laboratoire horizon (laboratoire d'analyse des sols&eaux) par spectrophotomètre à absorption atomique à flamme.

Les prélèvements d'eau ont été effectués dans les puits captant la nappe, dans l'oued Gouilla, l'oued Zied et dans neuf points caractérisant les eaux des lixiviats de la décharge elle même.

Les résultats obtenus sont comparés aux normes de potabilité des eaux de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS, 2011), (Tab. 14). Ainsi qu'aux normes Algériennes des valeurs limites admissibles des rejets liquides pour chaque type d'industrie décrite dans le journal officiel N° 26, 23 avril 2006 (Tab. 15).

Tableau 14 - Les lignes directrices de l'OMS en ce qui concerne la qualité de l'eau potable (2011)

<b>Elément/ Substance</b>	<b>Symbole/ formule</b>	<b>Lignes directrices fixées par l'OMS des eaux potables</b>
Chlore	Cl	250 mg/l
Conductivité	CE	400 µS/cm
Cuivre	Cu	2 mg/l
Fer	Fe	0.2 mg/l (*)
Plomb	Pb	0,01 mg/l
Manganèse	Mn	0,4 mg/l
Nickel	Ni	0,01 mg/l
Nitrite	NO <sub>2</sub>	3 mg
Sodium	Na	200 mg/l /
Sulfate	SO <sub>4</sub>	500 mg/l
Calcium	Ca	<200 mg/l
pH		6,5-8,5
Magnésium	Mg	50 mg/l
Potassium	K	12 mg/l

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

Tableau 15 - Normes Algériennes des rejets –(2006)

### VI.3 Interprétation des résultats :

#### VI.3 .1. Les caractéristiques physiques

##### VI.3 .1.1. Les Températures :

L'eau froide est généralement plus appréciée que l'eau chaude et la température aura un impact sur l'acceptabilité d'un certain nombre de constituants inorganiques et de contaminants chimiques qui peuvent affecter le goût. Une température élevée de l'eau stimule la croissance des micro-organismes et peut accroître les problèmes liés au goût, à l'odeur, à la coloration et à la corrosion

Dans la zone d'études les températures varient entre 14 °C et 19°C, le maximum est observé au niveau de la retenue « Ba », le minimum au niveau de la décharge et dans la plaine d'oued zied, p29, p33et la source.

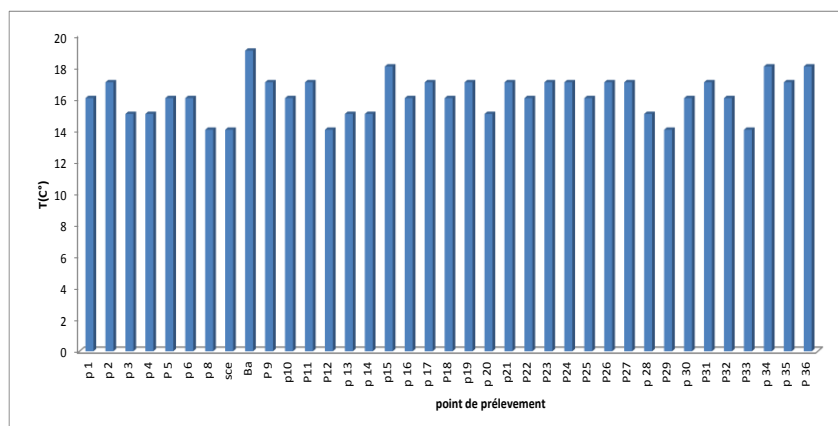


Fig. N° 25 : Variations des températures des eaux de la nappe.

**VI.3 .1.2. Le pH :**

Le potentiel hydrogène mesure la concentration en ions H<sup>+</sup> dans l’eau. Il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14, sept étant le pH de neutralité. Un pH inférieur à 5 représente une acidité forte, donc présence d’acides minéraux ou organique.

Les valeurs du pH varient entre 5.8 et 7.9 pour les eaux de la nappe, le pH le plus acide est mesuré au point p14, p26 que le pH le plus basique est mesuré au point P36. Pour le pH des lixiviats, il est basique observé au (Lix.1, Lix.2, Lix.6).et acide au (Lix.3. Lix.4 Lix.7)

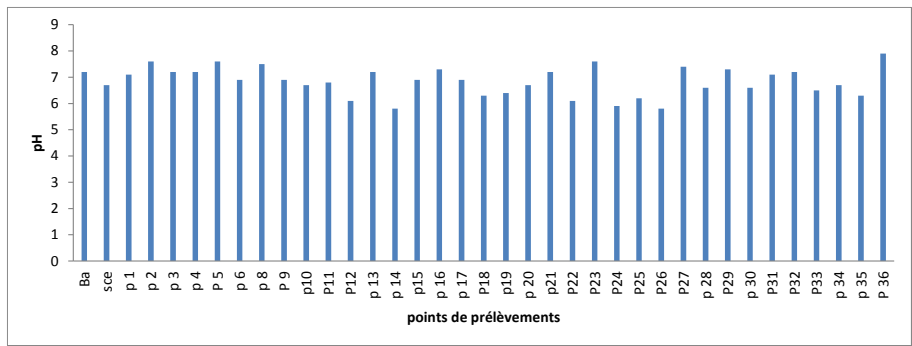


Fig. N° 26 : Variations du pH des eaux de la nappe

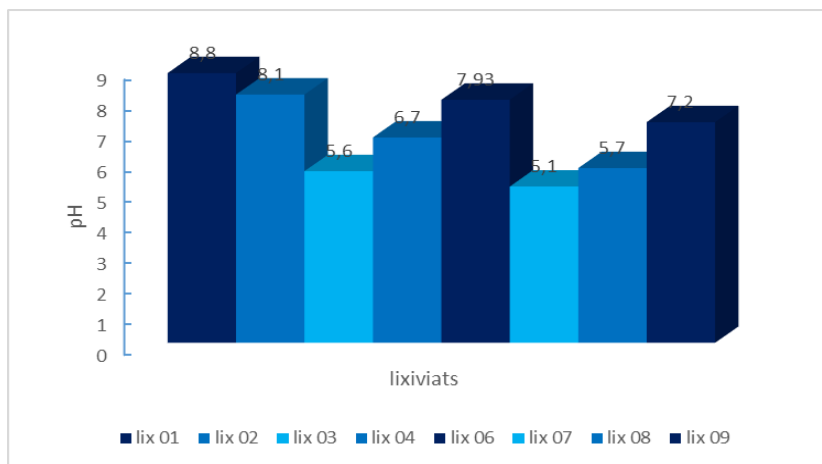


Fig. N° 27 : Variations du pH des lixiVats

**VI.3 .1.3. La conductivité électrique :**

A 20°, les eaux ne doivent pas être corrosives. La mesure de la conductivité permet d’apprécier la qualité de sels dissous dans l’eau. Une conductivité élevée traduit soit des pH anormaux, soit une salinité élevée.

Pour les échantillons des eaux de la nappe ils présentent des conductivités qui dépassent les normes de potabilité, 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 soit encore du lessivage des déchets de toutes natures déposés au niveau de la décharge. La valeur maximale de la conductivité est enregistrée au point P9 juste à la sortie de la décharge 2871 $\mu$ S/cm, le minimum est enregistré avec 512  $\mu$ S/cm au p26 (Fig. 28)

La conductivité des lixiviats est très forte ce qui est très important pour la qualité des eaux de la nappe, car ces lixiviats sont déversée directement dans les eaux de l'oued Gouilla.

La valeur la plus faible est observée au point Lix9 avec 1072 $\mu$ S/cm et la plus forte valeur est enregistré au point Lix1 avec 4376  $\mu$ S/cm On remarque que la conductivité augmente en sortant de la décharge.

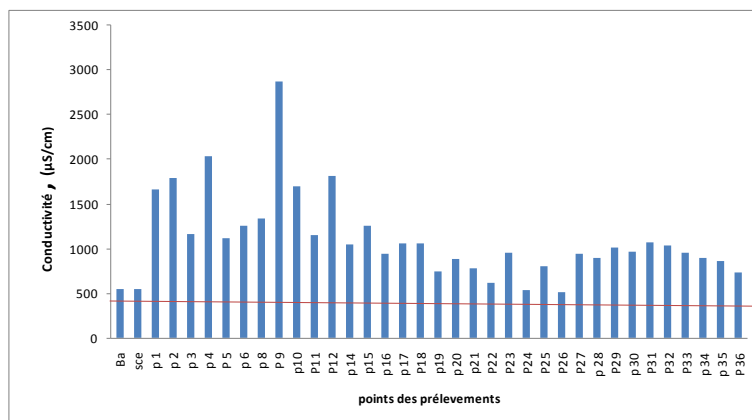


Fig. N° 28 : Variations des conductivités électriques des eaux de la nappe

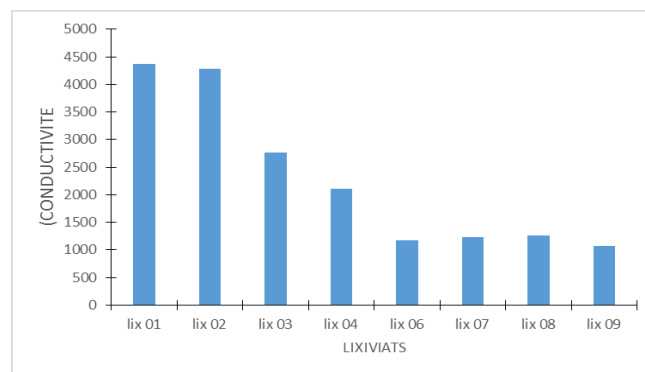


Fig. N° 29 : Variations des conductivités électriques des lixiviats

### VI.3 .1.3. La Dureté :

La dureté due au calcium et au magnésium se manifeste habituellement par la formation d'un précipité d'écume de savon et la nécessité d'utiliser plus de savon pour pouvoir nettoyer. Les consommateurs sont capables de percevoir les changements de dureté. L'acceptabilité du degré de dureté de l'eau peut varier considérablement d'une communauté à l'autre. Le seuil de détection par le goût pour l'ion calcium se situe entre 100 et 300 mg/l, suivant l'ion associé, et le seuil de détection par le goût pour l'ion magnésium est probablement plus faible que pour le calcium. Dans certaines circonstances, les consommateurs tolèrent une dureté de l'eau supérieure à 500 mg/l.

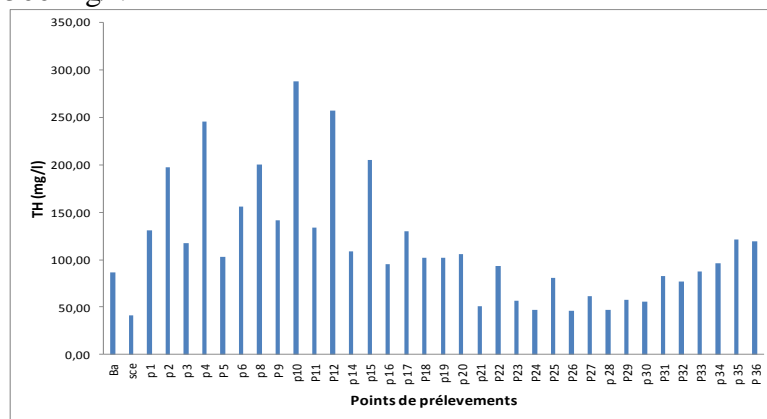


Fig. N° 30 : Variations de la dureté des eaux de la nappe

### VI.3 .2. Les Cations ( $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+}$ , $\text{Na}^+$ , $\text{k}^+$ )

#### VI.3 .2.1. Le Sodium $\text{Na}^+$ :

Le seuil de concentration du sodium dans l'eau qui est détectable par le goût dépend de l'anion associé et de la température de la solution. À température ambiante, le seuil moyen de détection pour le sodium est d'environ 200 mg/l. L'analyse des données a montré que le maximum est enregistré au niveau du puits p9 et le minimum au puits p30. (Fig. 31)

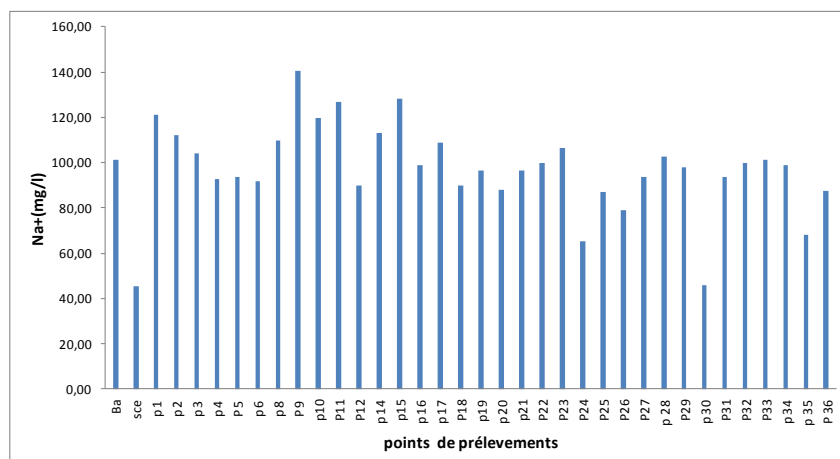




Fig. N° 31 .Variation su sodium dans les eaux de la nappes

**VI.3 .2 .2 Le Calcium (Ca<sup>2+</sup>) :**

Les résultats des analyses des puits étudiées montrent que les concentrations en Calcium varient entre 9.60 mg/l au p19 et 180 mg/l au p9. Donc tous les points étudiés ont des concentrations inferieur à la valeur maximale admissible qui est de 200 mg/l.

Des teneurs élevés en calcium pourraient être attribuées à la dissolution de la calcite ainsi que d'autres minéraux calciques tels que le gypse.

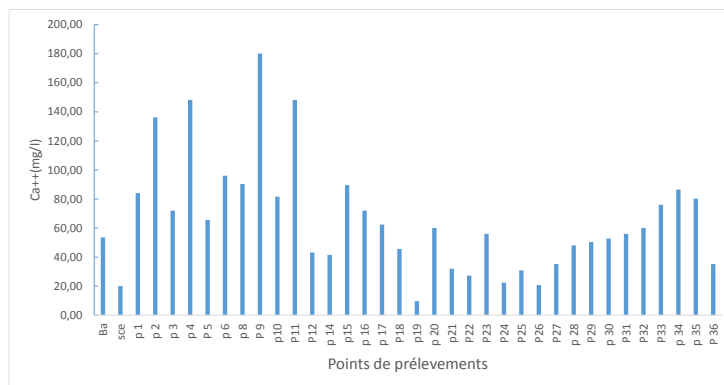
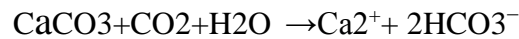


Fig. N° 32.Variation du calcium dans les eaux de la nappe.

**VI.3.2.3 Le Magnésium (Mg<sup>+2</sup>) :** la majorité des eaux naturelles contiennent généralement une petite quantité en Magnésium, sa teneur dépend de la composition des roches sédimentaires rencontrées.il provient de l'attaque par l'acide carbonique des roches magnésienne et de la mise en solution du magnésium sous forme de carbonates (bermonR.et Perrdo. C)

Les teneurs en Magnésium des échantillons d'eau analysés affichaient des valeurs (fig.33). Varient entre 20.16 au p22 et 109.08mg/l au p8.

Cette fluctuation pourrait être expliquée par la nature du sol et des roches traversés.

Le magnésium est l'élément qui accompagne souvent le calcium, et provient de la dissolution des formations carbonatées (dolomite). Les concentrations de toutes les stations sont conformes à la norme algérienne fixée à 150 mg/l

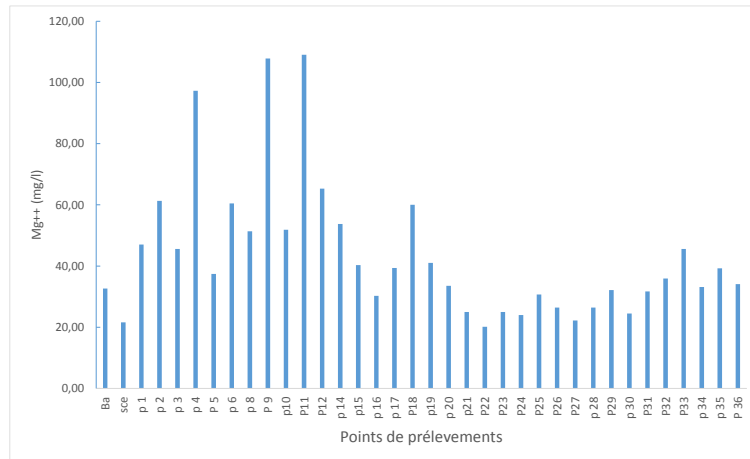


Fig. N° 33. Variation du Magnésium dans les eaux de la nappe

#### VI.3 .2.4. Le potassium (k<sup>+</sup>) : la norme fixée par l'OMS qui est de 12 mg/l.

Il est en généralement l'élément majeur le moins abondant dans les eaux après le sodium, le calcium et le magnésium il ne prend qu'exceptionnellement le troisième rang des cations

Le potassium se rencontre sous forme de chlorures doubles dans de nombreux minerais tels que la corollite et la sylvinite. On le trouve également dans les cendres des végétaux sous forme de carbonate. Le potassium est un élément indispensable à la Ve et notamment à la croissance des végétaux. L'agriculture, il est utilisé comme engrais sous forme de sulfate de potassium, de chlorure de potassium, ou encore de nitrate de potassium Le potassium pourrait résulter de la dissolution des engrais chimiques (NPK) qui sont utilisés massivement par les agriculteurs. La présence de cet élément pourrait être également liée au déversement des eaux usées domestiques (origines anthropiques) (Pesson)

La teneur en potassium est presque constante dans les eaux naturelles. Celles-ci varient entre 6.70 mg/l au p25 et 13.5 mg/l au p1.

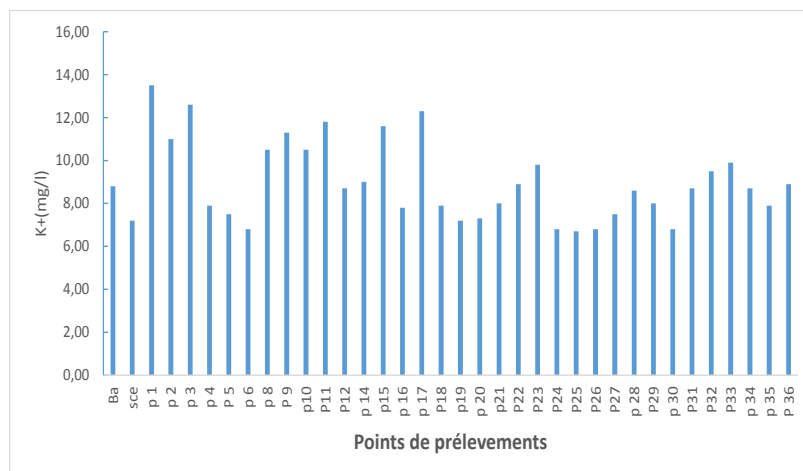


Fig. N° 34. Variation du potassium dans les eaux de la nappe

#### VI.3.3. Anions (Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>).

**VI.3.3.1 Les Nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) :** La présence des nitrites d'origine naturelle est très rare. Ils sont répandus dans le sol, les eaux et les plantes mais en quantité relativement faible la présence de cet ions dans une eau est un indicateur de la pollution, Leur existence dans une eau naturelle pourrait être due à une oxydation incomplète de composés azoté (azote organique ou ammoniacal). Ou pourraient provenir de la réduction des nitrates. Soit de la pollution par l'industrie chimique, ou des engrais.

Sa concentration ne devrait pas dépasser 3 mg/l ; D'après les résultats obtenus on constate que les concentrations ne dépasse guère la norme, le maximum est observé au niveau du puits p16 et le minimum au puits p1.

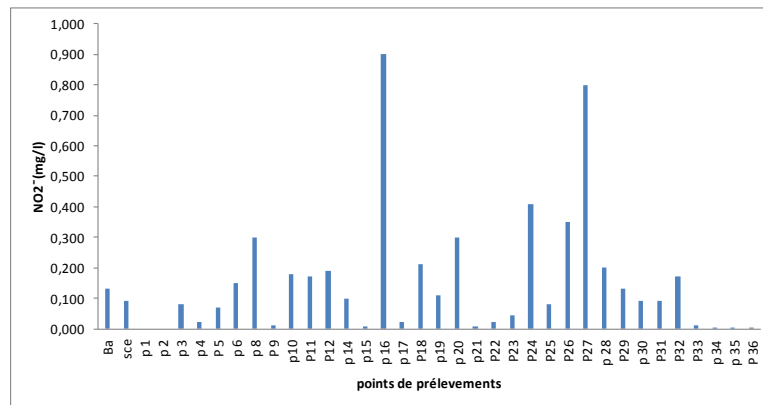


Fig. N° 35 : Variations des nitrites des eaux de la nappe

**VI.3.3.2 Sulfate :** Dans les conditions naturelles, les sulfates, forme de soufre dissous la plus répandue dans les eaux naturelles ont essentiellement deux origines : géochimique et atmosphériques ( Deliste C E et J.W.). Du fait de la solubilité élevée des sulfates, l'eau souterraines en condition normale peut en contenir jusqu'à 1.5g/l '(Matthess G-Mijinboun,) l'oxydation des sulfures ainsi que la dégradation de biomasse dans le sol constituent d'autres sources possibles.de nombreuses activités humaines et naturelles peuvent générer les apports de sulfates dans l'eau souterraines : application des engrais sulfatées, précipitations chargées en dioxydes de soufre, ect....

Les valeurs des sulfates dans les eaux étudiés sont variables, elles oscient entre 32,69 mg/l au puits p30 et 546,86mg/l au puits p9 (Fig.36)

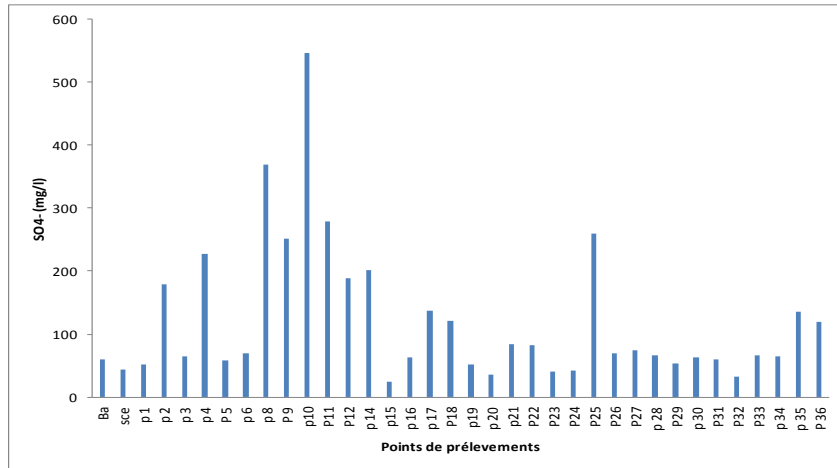


Fig. N° 36. variation des sulfates dans les eaux de la nappe.

**VI.3.3.3 Les Chlorure :**

Les concentrations supérieures à La norme (250 mg/l) seront détectées par le goût par un nombre croissant de consommateurs mais certains d’entre eux peuvent s’habituer au goût conféré par de faibles concentrations de chlorure les résultats enregistrés dans la zones d’études sont dans la majorité supérieures à cette valeur, le maximum est au niveau du puits p11 et le minimum au point p30. (fig.37)

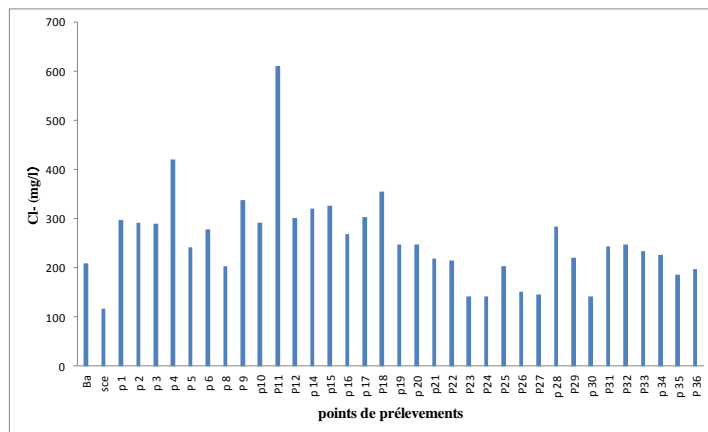


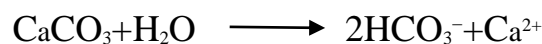
Fig. N° 37. Variation des chlorures dans les eaux de la nappe.

**VI.3.3.4 Les bicarbonates (HCO3<sup>-</sup>) :**

La présence en bicarbonates dans les eaux souterraines dépend surtout de la présence des minéraux carbonatés dans le sol aquifère, ainsi que la teneur en CO<sub>2</sub> de l’air et du sol dans le bassin d’alimentation.

Les résultats des analyses varient entre un minimum de 14.64mg/l au puits p14 et un maximum de 302,56 mg/l au puits p6.

Les valeurs élevées sont vraisemblablement lier la nature du sol dans la région d’étude



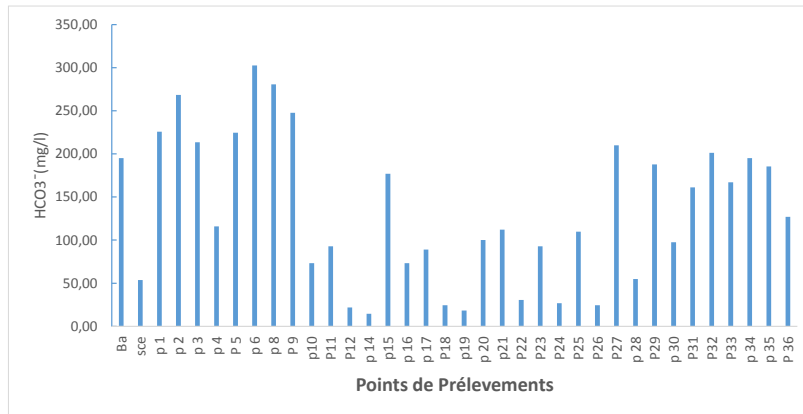


Fig. N°38.variation des Bicarbonates dans les eaux de la nappe.

### VI.3.4 Les Métaux lourds :

Les métaux et les métalloïdes sont présents à l'état de trace dans la croûte terrestre. On appelle métaux lourds les éléments métalliques naturels dont la masse volumique dépasse  $5 \text{ g/cm}^3$ . Leur présence dans les eaux naturelles résulte des processus naturels (érosion et altération, émissions volcaniques, diffusion d'aérosols à partir des sols et de l'eau de mer) et de l'activité humaine. Cette dernière est aujourd'hui considérée comme la principale source de contamination des eaux par les métaux. L'importance relative des sources de contamination anthropique (industrielle, domestique ou agricole) est variable selon l'élément considéré et l'occupation des sols sur le bassin versant.

Dans la région d'étude se trouve la décharge publique d'Annaba qui génère par ses lixiviats des concentrations élevées en métaux lourds ; Cuivre, Fer, Manganèse Nickel et Plomb. Les concentrations obtenues dans les puits limitrophes de la décharge sont élevées et dépassent largement les normes de rejets (tableau. 15).

**VI.3.4.1 Le Plomb :** Les valeurs relevées témoignent d'une contamination irrégulière et parfois importante des eaux de la nappe. En effet, la valeur minimale de  $0,035 \text{ mg/l}$  est enregistrée au niveau du point P32 et une valeur maximale de  $1.1 \text{ mg/l}$  est enregistrée au niveau du point P15 (Fig. 39)

Pour les lixiviats la valeur minimale de  $0,39 \text{ mg/l}$  est enregistrée au niveau du point Lix.04 et une valeur maximale de  $1.75 \text{ mg/l}$  est enregistrée au niveau du point

Lix.08 (Fig.40), les teneurs en plomb des lixiviats sont supérieures que celles les normes des rejets des effluents.

Cependant, l'analyse détaillée des teneurs en Pb montre que les faibles valeurs ont été enregistrées au niveau des points situées 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 situées à proximité de l'Oued Zied ou à côté de la décharge.

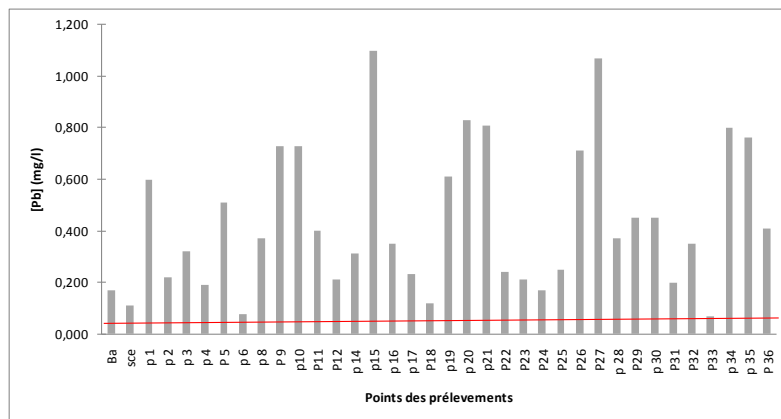


Fig. N° 39. Variations de la teneur en plomb des eaux de la nappe.

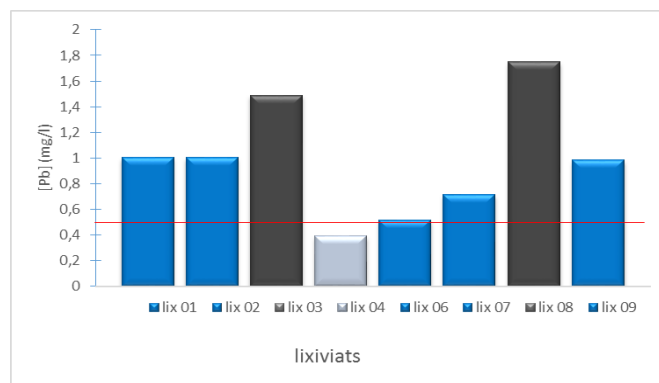


Fig. N°40 .Variations de la teneur en plomb des lixivats.

**VI.3 .4.2. Le Fer :** Les teneurs en Fer indiquent des concentrations importantes particulièrement au niveau des points P8, P25, P29, P32 et P33 avec des valeurs respectives de (2.10 , 1.73, 1.48 , 1.3, 1.32 )mg/l. et la plus faible concentration est enregistrée au p 19 avec 0.28 mg/l Pour les autres points surtout ceux qui sont au sein de la décharge leurs valeurs oscillent entre voir 0.78 et 1.01 mg/l (Fig. 41).

Par ailleurs, cette présence notable du Fer dans ces eaux, les teneurs enregistrées restent supérieures à la concentration maximale admissible (CMA) recommandée par l'OMS pour les eaux d'alimentation (200 µg/l).

Pour les lixiviats on a enregistré des fortes teneurs, la plus faible valeur au point Lix.09 (0.52mg/l). La valeur maximale est enregistrée au point Lix2 et lix07. Avec (1.83 et 1.79) mg/l.

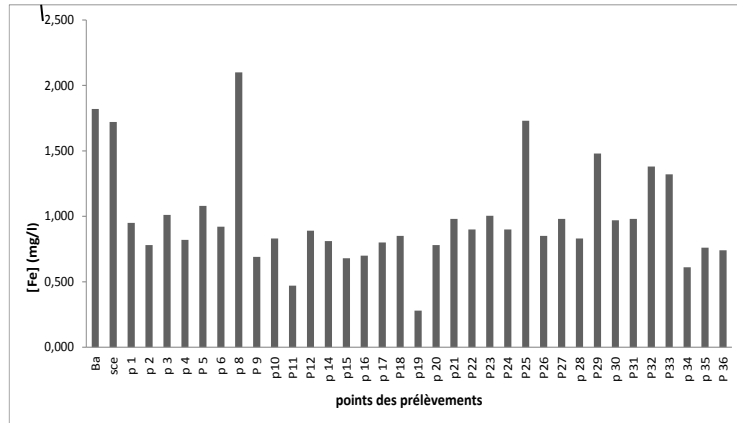


Fig. N° 41 : Variations de la teneur en Fer des eaux de la nappe.

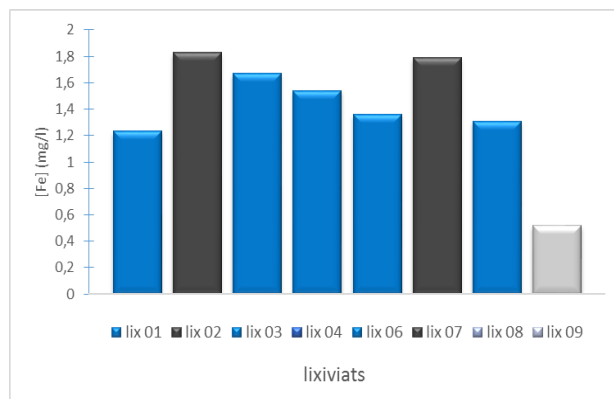


Fig. N°42 : Variations de la teneur en Fer des lixiviats.

### VI.3 .4. 3. Le Manganèse

Les résultats permettent de constater des teneurs très élevées en Manganèse (Fig. 33), de l'ordre de 2.10 mg/l et 1.9 mg/l et 1.770 mg/l ; respectivement au niveau des points P10et P14 et P4. Cependant, à l'exception la valeur minimale dont la teneur est de l'ordre de 0,035 mg/l dans le puits P24, tous les points échantillonnés présentent des valeurs supérieures à la norme de potabilité.

Pour les lixiviats la plus part des teneurs sont supérieur à celle que la norme exigée pour les effluents qui est de 1 mg/l sauf pour les teneurs en lix 02 avec 0.891mg/l et lix 07 avec 0.97 mg/l presque à la limite de la norme , (Fig. 44)

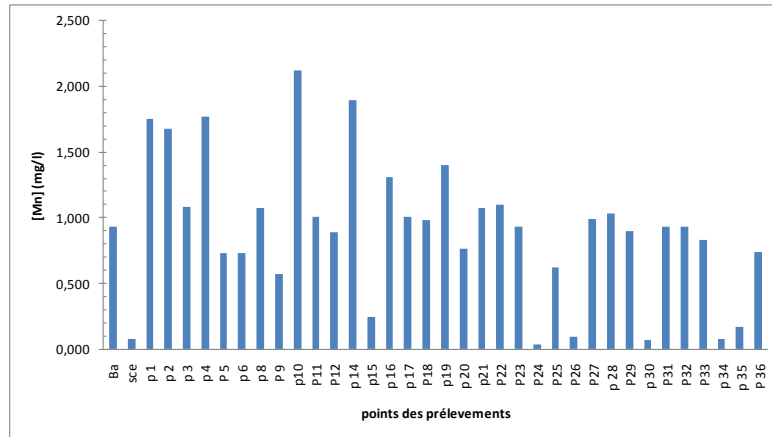


Fig. N°43. Variations de la teneur en Manganèse des eaux de la nappe.

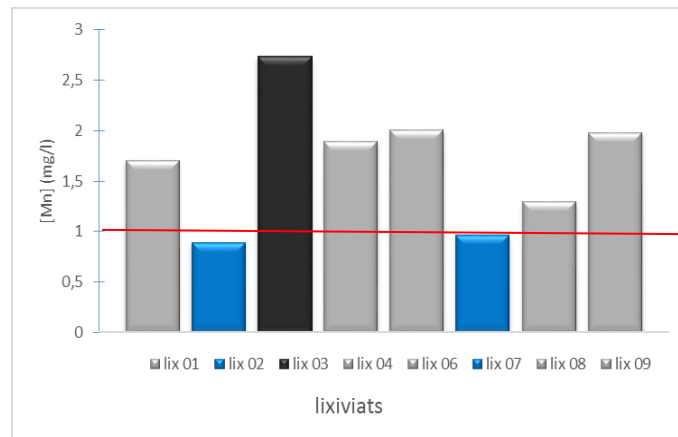


Fig. N°. 44. Variations de la teneur en Mn des lixiviats.

**VI.3.4.4 Le Nickel :** D’après les résultats obtenus au niveau du lixiviats nous constatons des valeurs très élevées de 0.37 mg/l au Lix 08 et le minimum de 0.098 au Lix 03 .

On ce qui concerne les eaux de nappes toutes les valeurs obtenues sont supérieurs a la Norme ; la valeur la plus élevée au P1 est de 0.211 mg/l et le minimum de 0.01 mg/l est enregistré au p 28.



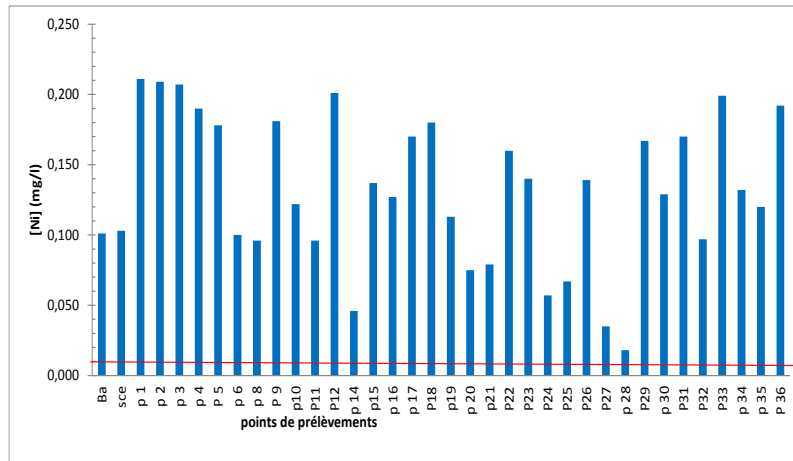


Fig. N° 45 . Variations de la teneur en Nickel des eaux de la nappe

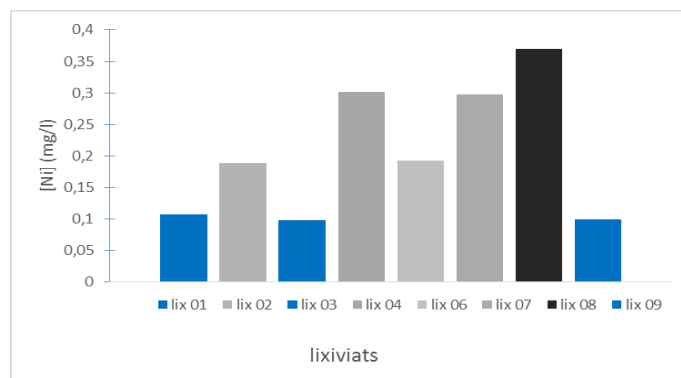


Fig. N° 46. Variations de la teneur en Nickel des lixiviats

#### VI.3 .4.4 Le Cuivre

Le cuivre les résultats des analyses obtenus schématisé sur la figure nous permet de constater que toutes les valeurs des eaux de la nappe ne dépasse guère la norme la valeur maximale est enregistrée au puits p10 avec 1.98 mg/l et le minimum est au niveau du puits p24 avec une valeur de 0.07 mg/l (fig.47)

On ce qui concerne les lixiviats le maximum est au lix 03 avec une valeur de 1.67 mg/l et le minimum est au lix 06 avec une valeur de 0.61 mg/l. (fig.48)

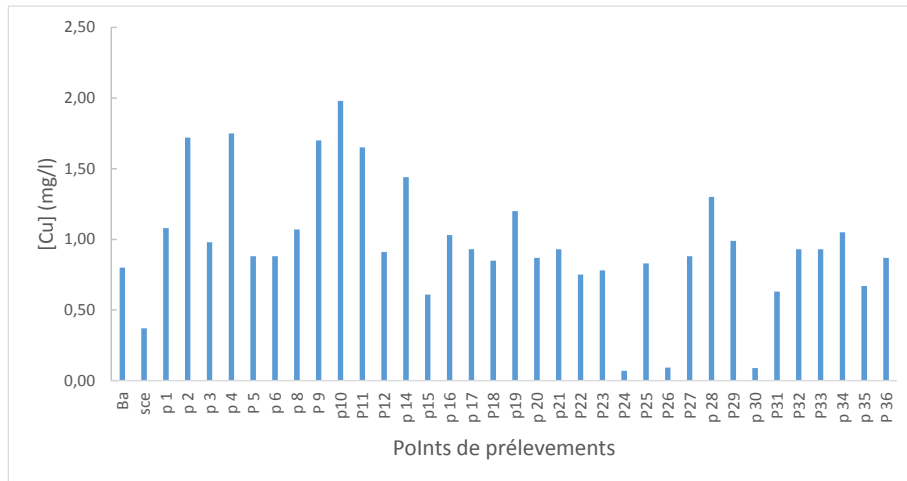


Fig.N°47 Variations de la teneur en Cuivre des eaux de la nappe

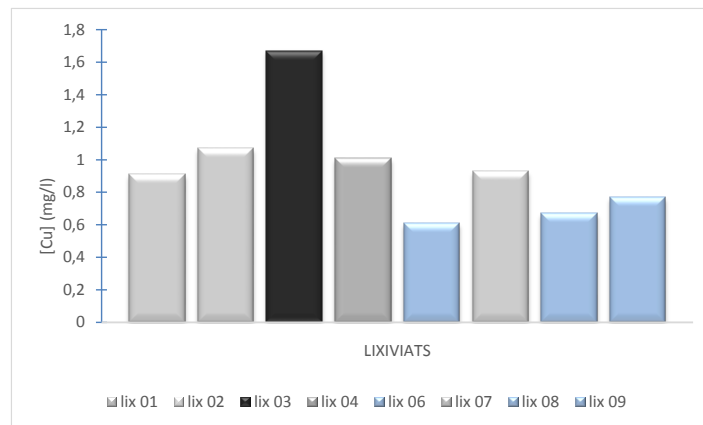


Fig. N° 48 Variations de la teneur en Cuivre des lixiviats

**VI.4 évolution spatiale de la pollution :**

**VI.4.1. Cartes de répartition du pH :** Au Nord de la plaine et dans la décharge le pH est basique, on remarque une acidité bien individualisée (inférieure à 6,5) au contact avec le lac Fetzara au Sud-Ouest, (Fig.49).

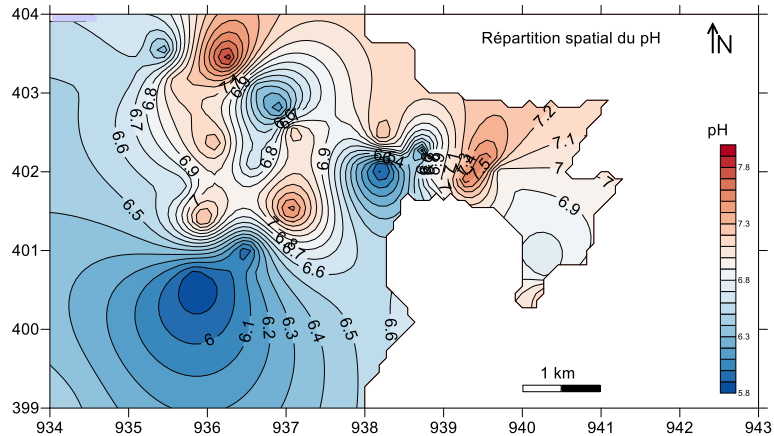


Fig. N°49. Carte du pH

#### VI.4.2. Cartes de répartition des conductivités :

Les points qui se trouve dans la zone de la décharge, la conductivité électrique est élevées ce qui explique l'effet des lixivats , mais elle va diminuer en s'éloignant de la décharge, (Fig.50).

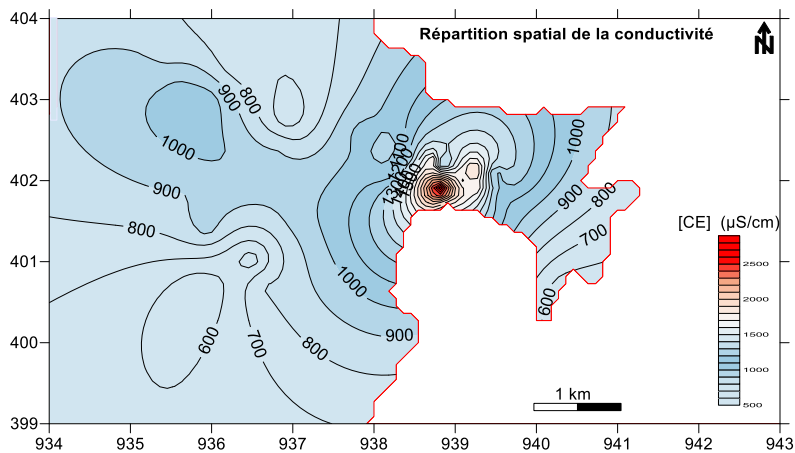


Fig. N°. 50. Carte de la conductivité

#### VI.4.3 . Évolution de la distribution spatiale des cations majeurs des eaux souterraines

**VI.4.3.1 Le calcium et le sodium** : pour les concentrations du calcium et du sodium des eaux Souterraines de la région, elles ne dépassent pas les normes (inférieurs à 200 mg/l), Mais toujours les importantes teneurs sont mesurées au nord -est de la région, au niveau de la décharge.

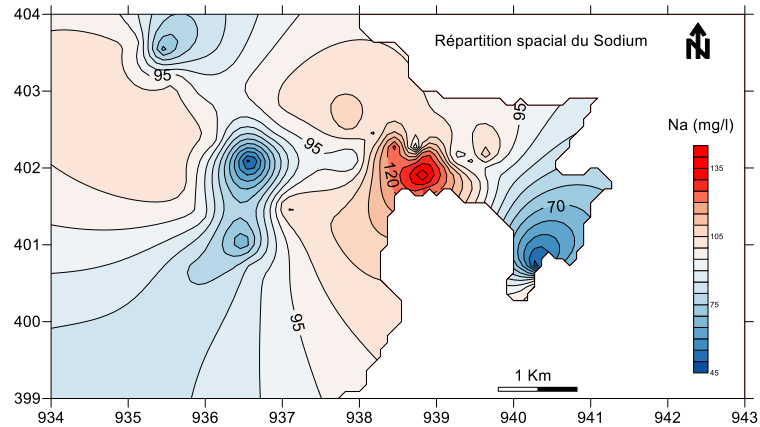


Fig. N° 51. Carte distribution du sodium dans la zone d'étude.

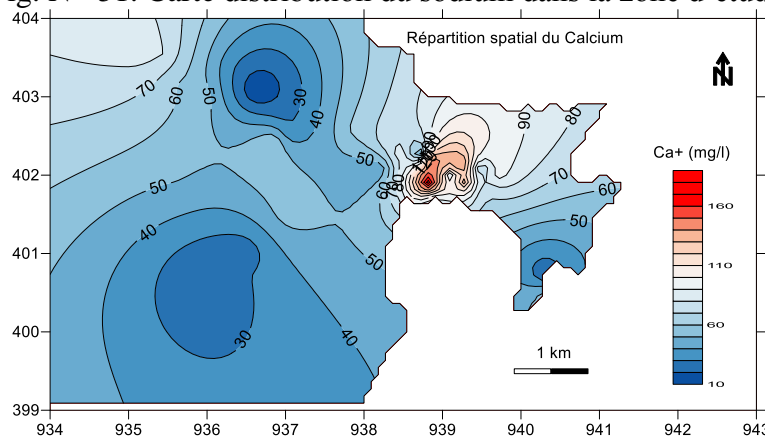


Fig. N° 52. carte distribution du calcium dans la zone d'étude.

**VI.4 .3.2 Le magnésium** : le magnésium est bien abondant dans la région, il se trouve à des Concentrations qui dépassent les normes (supérieures à 50 mg/l) dans décharge et à ça proximité, au-delà les teneurs diminuent en s'éloignant de le sens d'écoulement (Fig. 53).

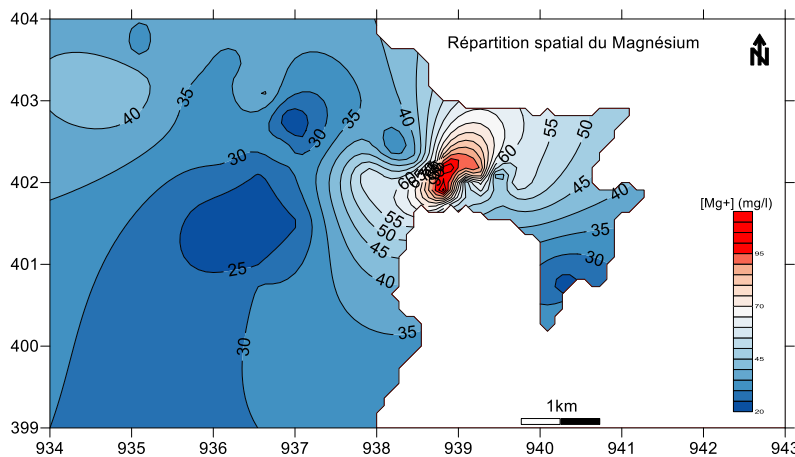


Fig. N° 53. Carte de la distribution du Magnésium dans la zone d'étude.

**VI.4 .3.3 Le potassium** : la distribution des concentrations de potassium dans la zone d'étude Révèle que cet élément se trouve à des teneurs variables, il dépasse la

norme (12mg/l) au niveau de la décharge et elles diminuent en allant vers partie la partie Sud-Ouest en contact avec le lac Fetzara,

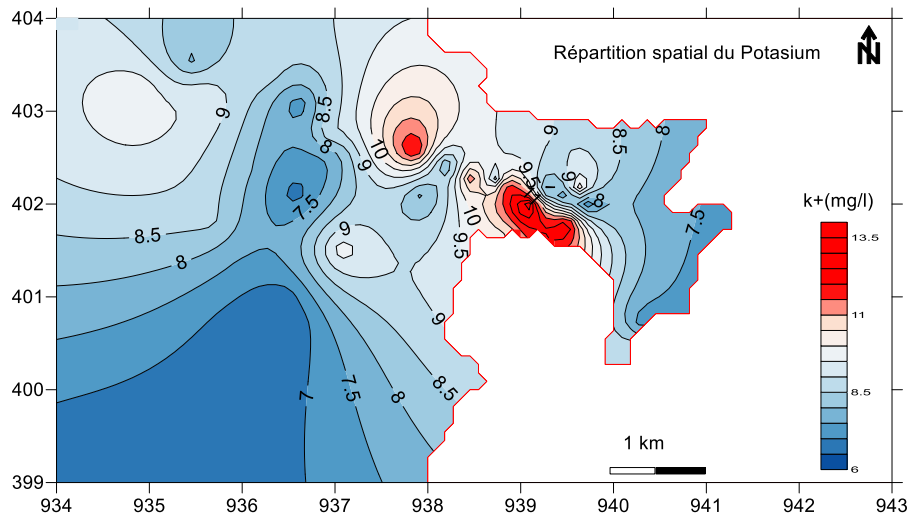


Fig. N° 54. Carte de la distribution du potassium dans la zone d'étude.

#### VI.4 .4 évolution de la distribution spatiale des anions majeurs des eaux souterraines

**VI.4 .4.1 Les chlorures** : les eaux souterraines de la zone d'études sont très chlorurées, les concentrations en chlorures sont considérables et dépassent la norme (250 mg/l) dans toute la partie Nord et Nord-Est de la région au niveau de la zone d'étude . En plus de l'origine anthropique (décharge) et géologique (couches d'argile) de cet élément, il s'ajoute que la plus part des habitants de la région qui ont des puits domestiques additionnent de l'eau de Javel dans leurs puits pour éviter toute contamination bactérienne, sans prendre aucune mesure de sécurité lors de l'ajout de l'eau de Javel, (Fig. 55).

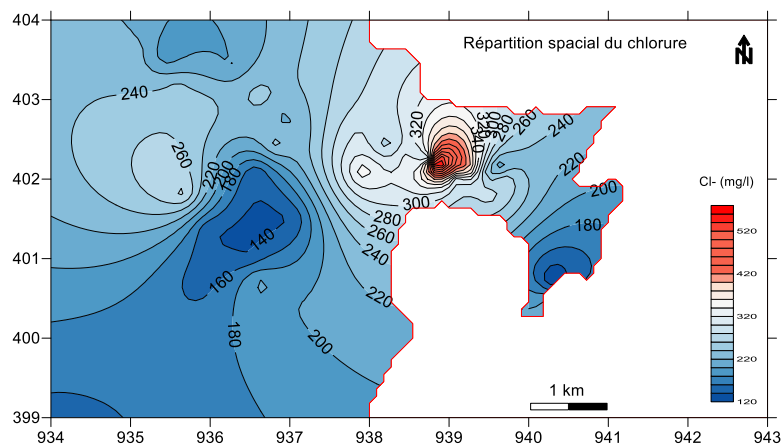
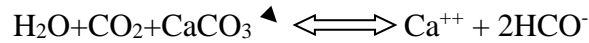


Fig. N° 55 .Carte de la distribution des Chlorures dans la zone d'étude.

**VI.4 .4.2 Les bicarbonates** : la concentration de bicarbonates dans la zone d'étude est normale (Fig. 54), elle varie d'une valeur minimale de 14.70 mg/l et maximale de 344.8 mg/l.

La précipitation (ou la dissolution) des carbonates dépend de la réaction suivante :



La présence des carbonates est donc contrôlée par le pH du milieu, lui-même contrôlé Par la pression partielle de CO<sub>2</sub> (pCO<sub>2</sub>). Une baisse de la pCO<sub>2</sub> augmente l'alcalinité.

Dans les eaux naturelles l'alcalinité, exprimée en HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, varie de 10 à 350 mg/l (J. Rodier et coll., 2005).

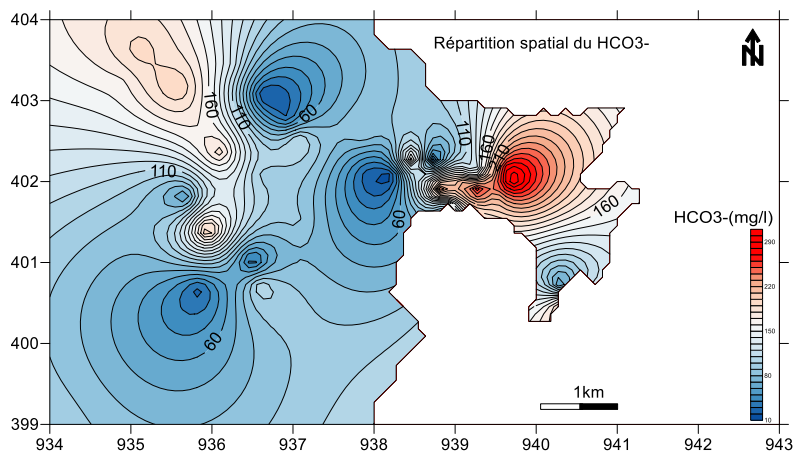


Fig. N°56. Carte de la distribution du Bicarbonates dans la zone d'étude.

**VI.4.4.3 Les sulfate** : Les ions sulfates proviennent de la dissolution du gypse (CaSO<sub>4</sub>, 2H<sub>2</sub>O) et par l'oxydation des sulfures en sulfates dans les déchets miniers. Les principales sources industrielles sont les effluents des tanneries, des ateliers de décapage métallique, des usines de textile et des fabriques de pâtes et papiers. Les ions sulfates sont très solubles et leur concentration est très variable dans les eaux naturelles. C'est en Nord-Est de la zone d'étude qu'en a mesuré les fortes teneurs, au sein de la décharge et a la proximité à une distance pas très loin des champs agricoles où les engrais phosphatés sont utilisés couramment. Des fortes concentrations en sulfates provoquent des troubles gastro-intestinaux, elles peuvent données un goût désagréable à l'eau et créent des dépôts tenaces dans les chaudières (Fig. 57).

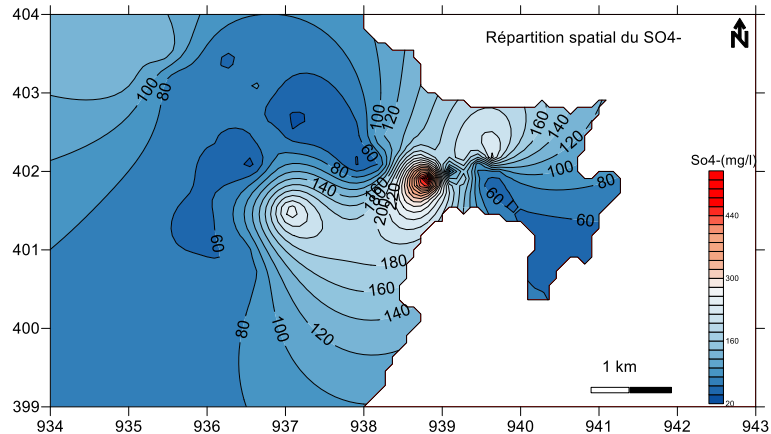


Fig. N°57. Carte de la distribution du Sulfates dans la zone d'étude.

**VI.4.4.4 Les nitrites :** La norme fixée par l'OMS concernant la concentration de nitrite dans les eaux potables qui est de 3 mg/l, n'est jamais atteinte, les eaux de la région de ont des teneurs normales, sur la carte de distribution spatiale (Fig. 58), les fortes teneurs sont observées surtout dans la région ou de où s'exerce une activité agricole intense (utilisation d'engrais et fumiers).

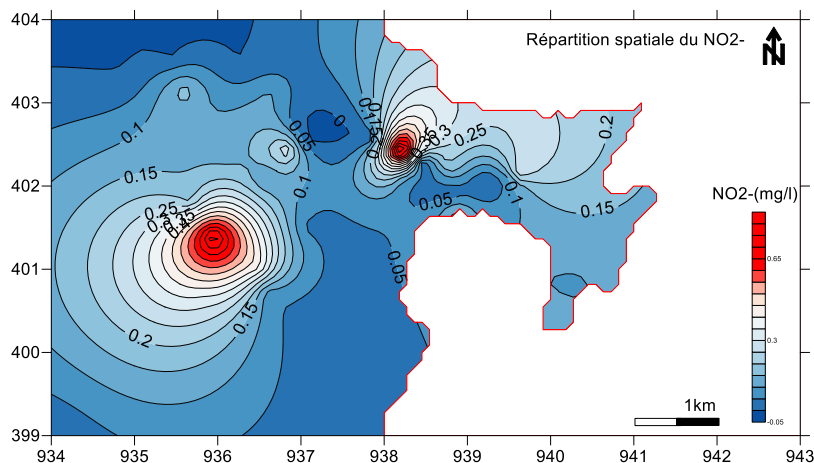


Fig. N°58. Carte de la distribution du Magnésium dans la zone d'étude.

#### VI.4 .5 évolution de la distribution spatiale des métaux lourds dans les eaux souterraines

##### VI. 4.5.1 Carte des teneurs en Manganèse :

Les teneurs les plus élevées se localisent au limite de la décharge publique, on remarque une augmentation de la concentration des points en s'éloignant de la décharge. Les points qui se trouvent au centre de la plaine ne varient pas mais la teneur est supérieure la CMA (Fig.59)

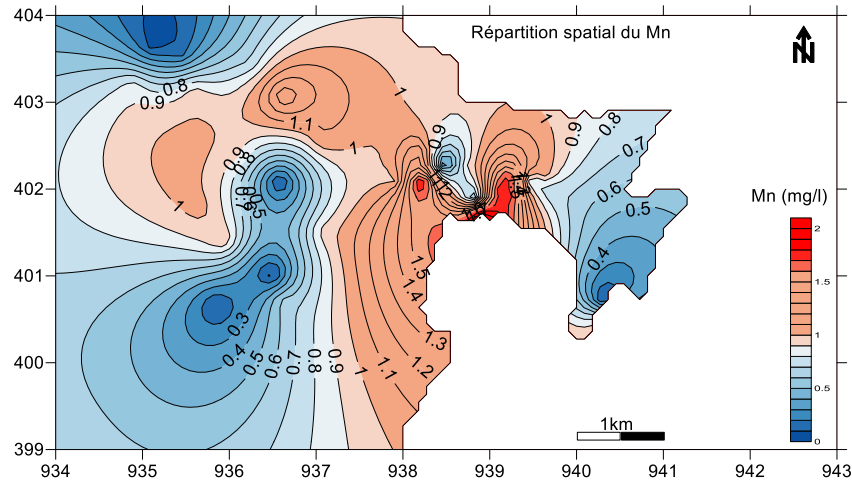


Fig. N°59. Carte de la distribution du Manganèse dans la zone d'étude.

#### VI.4.5.2 Carte des teneurs en Nickel

Les plus fortes teneurs se localise au niveau de la décharge au point p1, p2, p3 avec 0.212, 0.209 ,0.07mg /l et sur ses bordures.

La concentration diminue du Nord vers le sud -ouest suivant le sens d'écoulement de l'oued Guilla et oued Zied . Au centre de la plaine, les concentrations en Nickel sont relativement élevée, (Fig.60).

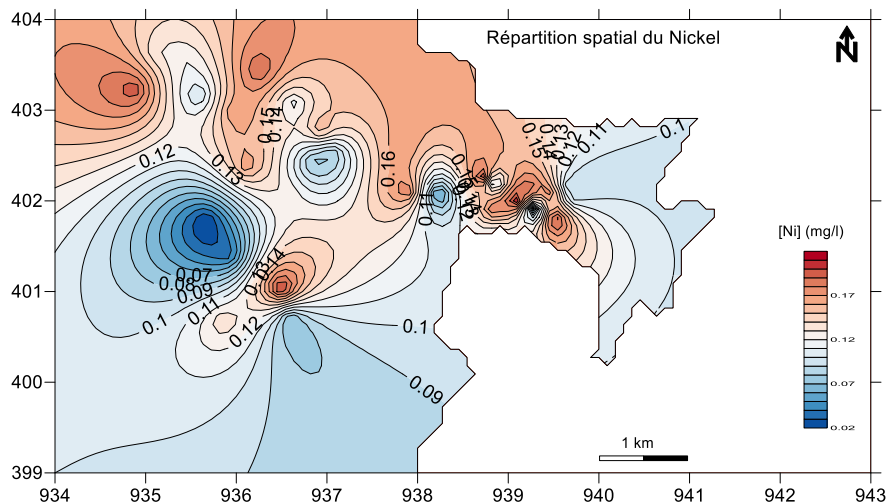


Fig. N° 60. Carte de la distribution du Nickel dans la zone d'étude

#### VI.4.5.3 Carte des teneurs en Plomb :

Les teneurs en plomb suivent pratiquement la même répartition que celle du nickel. Les points qui se trouvent dans la décharge sont les plus chargés. La concentration maximale se trouve au avec 0.39 (mg /l) alors que la valeur minimale au p 22 a 0.06



(mg /l), La teneur en plomb dans la plaine est forte mais elle reste inférieure aux concentrations des points situés à proximité de la décharge au 0.1 (mg/l) et un max au p18 de 0.15 mg /l (Fig. 61) .

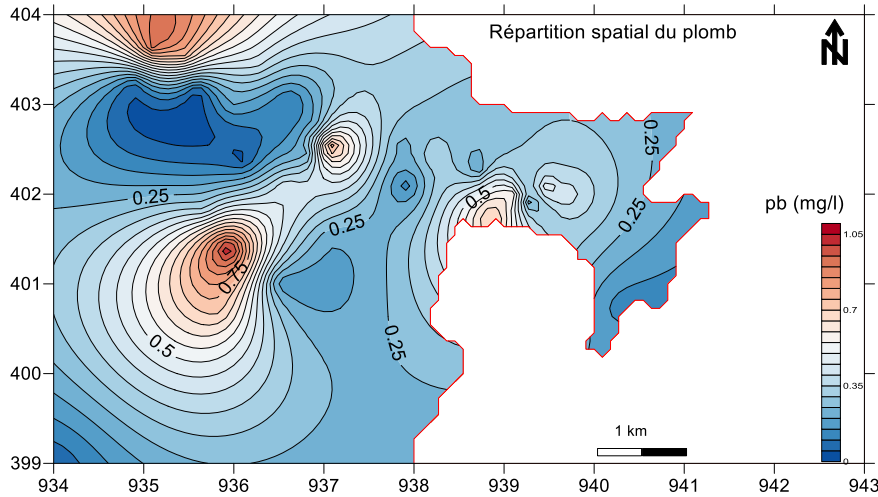


Fig. N°61. Carte de la distribution du plomb dans la zone d'étude

#### VI.4.5.4 Carte des teneurs en cuivre

Les eaux des puits qui se trouvent sur les bordures de la décharge ainsi que les eaux des puits qui se trouvent à proximité de l'oued Zied, sous l'effet direct des effluents de la décharge, présentent des teneurs élevées en en particulier le point P2 et P1. Le centre de la plaine est caractérisé aussi par des teneurs élevées mais à un degré moindre que la décharge, (Fig.62)

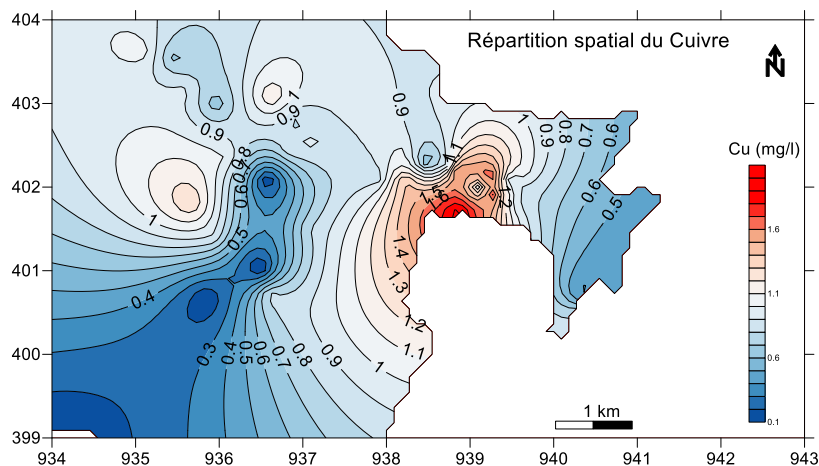


Fig. N°62. Carte de la distribution du Cuivre dans la zone d'étude

#### VI.4.5.5 Carte des teneurs en Fer

Le Fer dans la zone d'étude est en concentration assez élevée, ainsi que l'influence de la décharge est bien net suivant le sens d'écoulement des eaux souterraines, cet élément et d'autres minéraux assimilables sont d'origine naturelle (ancien gisement métallifère à dizaine de kilomètre plus au Nord dans le massif de l'Edough) et cela se traduit par les fortes teneurs dans la plaine de oued zied .

La présence de la pyrite est fréquente dans des niveaux alluvionnaires, tourbeux et argileux, elle intervient comme échangeur d'électrons dans la réaction globale de dénitrification suivante (Mariotti, 1994) :

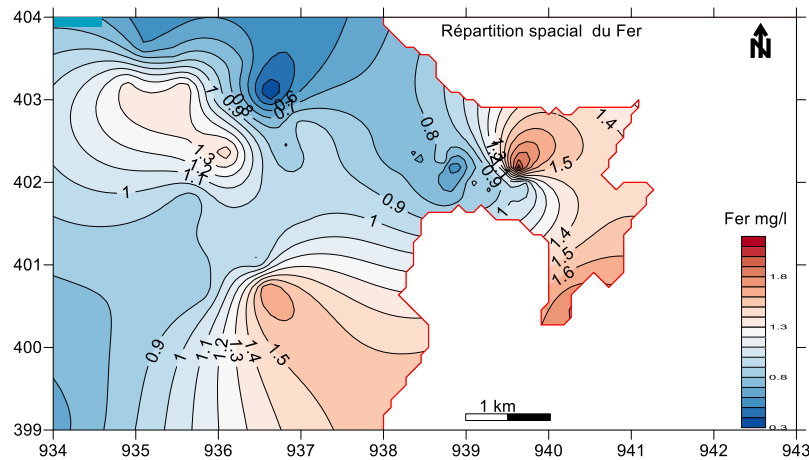


Fig. N°63. carte de la distribution du Fer dans la zone d'étude

## VI.5 Méthode hydro chimique

Pour pouvoir analyser d'importantes données obtenues et en sortir le plus d'informations en peu de temps il a fallu utiliser des outils efficaces et rapides.

Le principal outil utilisé est le logiciel Diagrammes élaboré par Roland Simler en 2013, du laboratoire d'Hydrogéologie D'Avignon. C'est un logiciel d'hydrochimie en distribution libre facilitant l'exploitation d'analyse d'eau et consultable sur le site [www.lha.univ-aVgnon.fr/LHA-Logiciels.htm](http://www.lha.univ-aVgnon.fr/LHA-Logiciels.htm).

### VI.5 .1 Les faciès chimiques des eaux souterraines

Tous les faciès sont représentés sur le diagramme de Piper (1944), après le calcul du Bilan ionique, on a constaté que la majorité des échantillons ont un faciès chloruré sodique Dominant, avec faciès chloruré calcique et chloruré magnésique peut abondant, les autres Types de faciès sont très rares (**Fig.64**).

**VI.5 .1.1.Faciès chloruré-sodique:** représente 77 % des eaux. Ce type de faciès est observé dans la majorité des puits surtout au niveau de la plaine de oued zied . Ce dernier indique des apports plus riches en éléments salifères,

**VI.5 .1.2.Faciès chloruré-calcique et magnésien :** représente 13.88 % des eaux, p2, p4, p11, p34. ce type de faciès caractérise les puits dans et à La sortie de la décharge et reflète l'influence des apports de l'altération des gneiss environnants.

**VI.5.1.3.Faciès bicarbonaté-calcique et magnésien :** représente 5.55 % des échantillons Ce type de faciès est observé surtout au puits P8 ; ce faciès est dû d'une

part à la dissolution des gneiss du socle métamorphique de de Bleilita d'autre part aux formations carbonatées. (Hadj zobir S)

**VI.5 .1.4. Faciès sulfate calcique:** Représente 2.77 % des échantillons analysés Ce type de faciès est observé surtout sur dans le puits 9 ce faciès est dû d'une part à la dissolution aux formations carbonatées.

Diagramme de Piper de (Berka Zerga et plaine Zied )

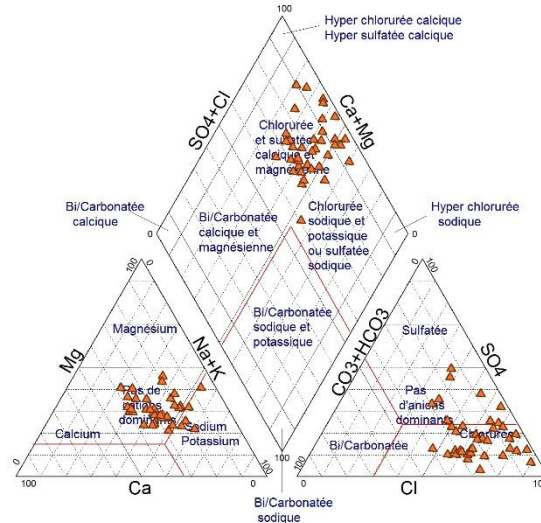
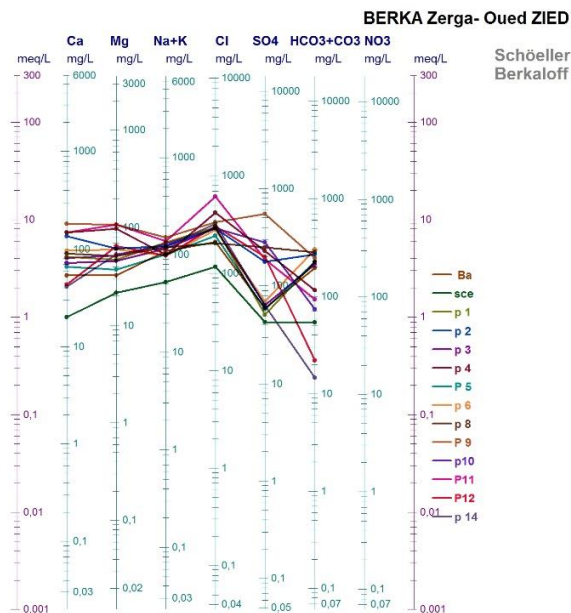


Fig.64. diagramme de peper pour les eaux de la zone d'étude .



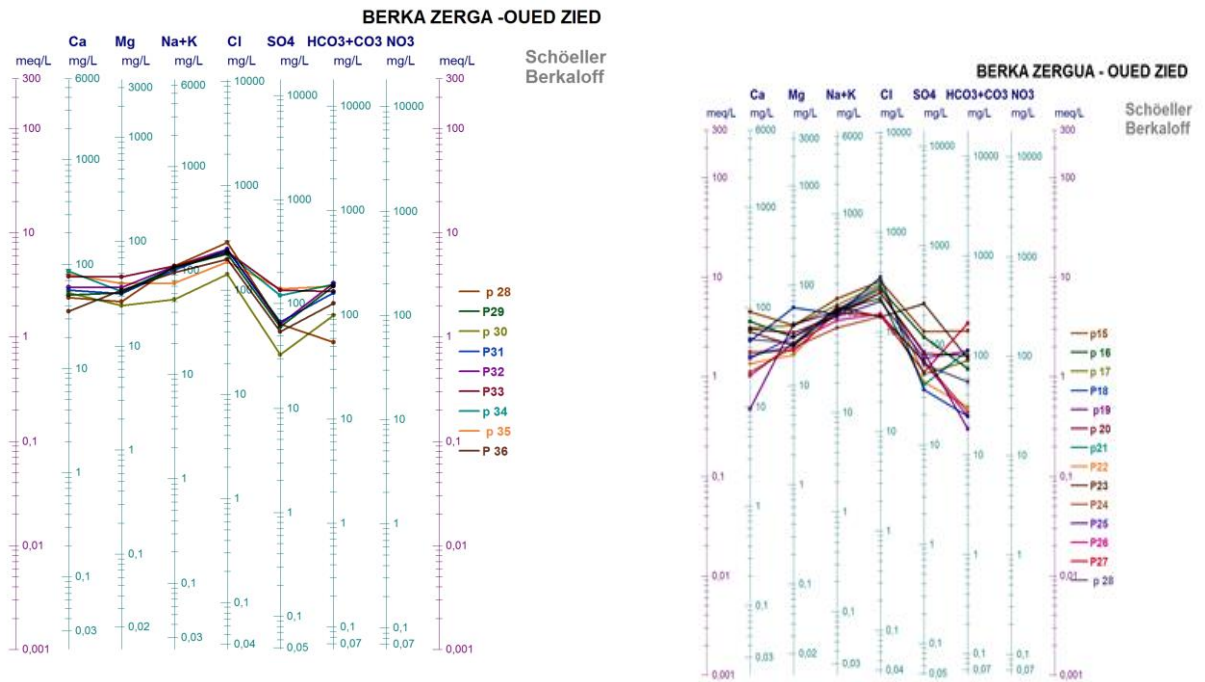


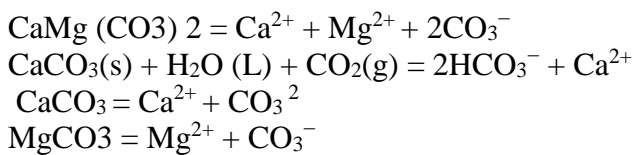
Fig. 65 : Diagramme de SHOELLER pour les eaux souterraines de la zone d'étude

VI.5 .2.Discussion des rapports caractéristiques

➤ Le rapport  $Mg^{2+}/Ca^{2+}$

Le rapport  $Mg^{2+}/Ca^{2+}$  de toutes les puits est inférieur à l'unité, avec des valeurs variables. Sauf pour les puits P12, p14, p18, p19, p24, p26 Ce qui laisse supposer la dominance des ions  $Ca^{2+}$  sur les ions  $Mg^{2+}$  qui traduit, en général, l'abondance des faciès calcaires sur le faciès dolomitique dans la lithologie des aquifères.

- **Le rapport  $Ca^{2+}/Mg^{2+}$ :** Durant cette campagne les valeurs de ce rapport sont supérieures à l'unité. Ceci confirme la dominance du  $Ca^{2+}$ . Ils peuvent provenir de la dissolution combinée de la calcite, la dolomite et le gypse selon les réactions suivante :



- **Le rapport  $Na^+/K^+$ :** le rapport  $Na^+/K^+$  montre que les valeurs étudiées sont supérieures à l'unité. Ce qui signifie la dominance du  $Na^+$  dans ces eaux analysées. Dans les eaux naturelles la quantité de  $K^+$  est très faible.
- **Le rapport  $Cl^-/Na^+$ :** Le rapport  $Cl^-/Na^+$  est supérieur à l'unité pour tous les puits Cela signifie la dominance des chlorures

## **VI. 6 .Analyse en composantes principales**

### **VI. 6 .1 Introduction**

L'A.C.P peut s'utiliser dans des situations nombreuses et variées pour savoir comment se structurer 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.

### **VI. 6 .2 ACP des eaux souterraines**

➤ Etude des corrélations inter variable pour les éléments majeurs :

La conductivité des eaux souterraines est positivement liée avec le chlorure ( $r = 0,695$ ), le sulfate ( $r = 0,75$ ), le calcium ( $r = 0,90$ ) ; le potassium ( $r = 0,55$ ) ; le magnésium ( $r = 0,87$ ) et le sodium ( $r = 0,64$ ). Elle représente la minéralisation des eaux souterraines dont l'origine est liée à la dissolution de différentes formations lithologiques de l'aquifère, ainsi que les échanges qui se produisent avec les eaux superficielles (tableau).

Le chlorure présente une liaison positive avec le calcium ( $r = 0.64$ ), le magnésium ( $r = 0.822$ ) et le sodium ( $r = 0.61$ ). Ces liaisons confirment les faciès déterminés des eaux souterraines à savoir chlorure sodique, chlorure calcique et chlorure magnésique.

Le sulfate est lié positivement avec le calcium ( $r = 0.70$ ) ; le Sodium ( $r = 0.515$ ) et le magnésium ( $r = 0.661$ ). Ceci provient de la dissolution des formations gypseuse et sulfaté magnésique.

Le bicarbonate présente seulement une corrélation positive faible, avec le calcium ( $r = 0.542$ ) qui est expliquée par la dissolution des carbonates.

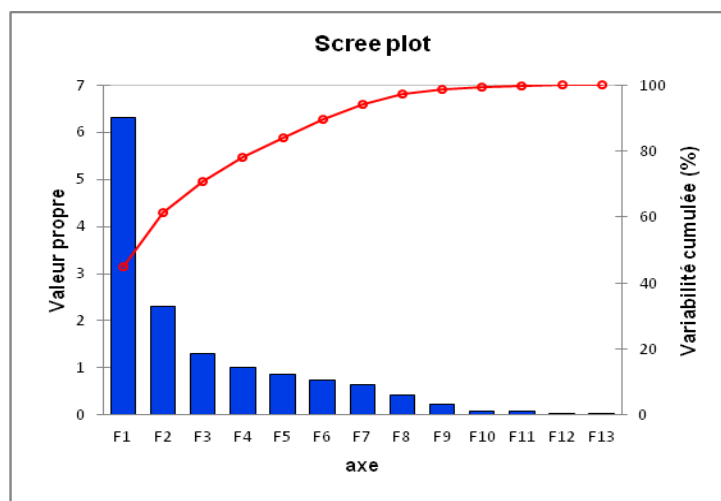
Le calcium est fortement corrélé positivement avec le magnésium ( $r = 0.816$ ) et faiblement corrélé avec le sodium ( $r = 0.563$ ). Ces liaisons peuvent être associées à la dissolution des formations carbonates et la mise en solution des silicates du socle métamorphique de la région.

Le potentiel d'hydrogène est positivement corrélé avec le bicarbonate ( $r = 0.626$ ). Ceci confirme la dissolution des formations carbonates et la libération de l' $\text{OH}^-$ .

Le potassium est positivement lié au calcium avec une corrélation faible ( $r = 0.518$ ) et une corrélation forte au sodium ( $r = 0.738$ ). Ces liaisons peuvent être associées à la dissolution de la même formation (même origine)

➤ **Plan et cercle F1xF2**

Les deux premiers axes de l'analyse en composantes principales expliquent 67.11 % de la variation totale présente dans les dix (10) variables proposées à l'analyse. Ce pourcentage se répartit en 50.36 % pour l'axe F1 et 16.75 % pour l'axe F2 (Fig.66).



**Fig. 66 : Valeurs propres et variabilités cumulées des eaux souterraines.**

La répartition des variables mesurées sur le plan des axes F1 et F2 est donnée dans la figure 67. Le long de l'axe F1 se regroupe dans un ensemble la majorité des variables. Cet ensemble est positivement corrélé à cet axe. Il est constitué par un groupe de variables qui sont le sodium, chlorure, calcium, magnésium, sulfate et conductivité.

L'axe F1 représente l'information relative à la minéralisation totale des eaux souterraines Et la pollution par les nitrites. Ces résultats indiquent que la conductivité des eaux est liée aux teneurs en chlorure, sulfate, calcium, magnésium et du degré moindre du sodium.

Tableau 16. Matrice de corrélation (Pearson (n)) :

Variabes	T (°C)	pH	CE	Mg <sup>++</sup>	Ca <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>
T (°C)	1										
pH	0,154	1									
CE	-0,045	0,255	1								
Mg <sup>++</sup>	-0,084	0,035	0,875	1							
Ca <sup>++</sup>	0,056	0,330	0,902	0,816	1						
Na <sup>+</sup>	0,168	0,270	0,640	0,513	0,563	1					
K <sup>+</sup>	0,074	0,303	0,558	0,397	0,518	0,738	1				
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,104	0,626	0,387	0,193	0,542	0,311	0,331	1			
SO <sub>4</sub>	-0,004	0,130	0,757	0,661	0,707	0,515	0,358	0,226	1		
Cl <sup>-</sup>	-0,022	0,013	0,695	0,822	0,647	0,610	0,485	0,005	0,310	1	
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	-0,067	0,010	-0,184	-0,204	-0,201	0,128	-0,320	-0,143	-0,101	-0,148	1

Le long de l'axe F2 se regroupe le bicarbonate et le potentiel d'hydrogène. Ils sont positivement liés à cet axe. L'axe F2 résume l'information relative à l'influence de la dissolution des formations carbonates sur le potentiel d'hydrogène.

Suite à la répartition des variables sur le plan des axes F1 et F2, on distingue quatre groupes d'eaux (fig. 68).

1 – La première famille est caractérisée par une minéralisation faible. Elle caractérise les eaux des.... (Source, p19, p21, p22, p24, p25, p26, p36).

2 – La deuxième famille est caractérisée par une charge saline très élevée par rapport aux trois autres familles. La concentration de la majorité des cations et des anions est très élevée. Elle est caractéristique le puits. (p9.p10).

3 – La troisième famille présente une salinité élevée. Le potentiel d'hydrogène et les bicarbonates sont élevés. Elle caractérise les eaux des puits ... (p1, p2, p3, p6, p8).

4 – La quatrième famille présente une salinité moyenne. La concentration de la majorité des cations et des anions est dans les normes. Elle caractérise la majorité des puits.

(p5, p7, p8, p9, p13, p14, p15, p16, p17, p18, p20, p23, p27, p28, p29, p30, p31, p32, p33, p34, p35)

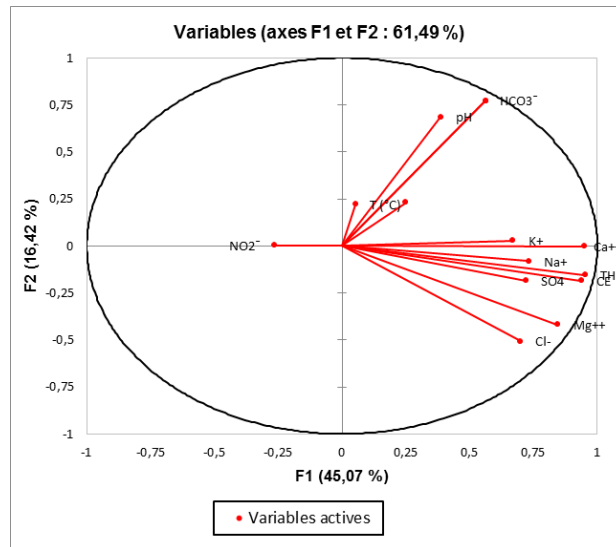


Fig.67 : Cercle FI-FII

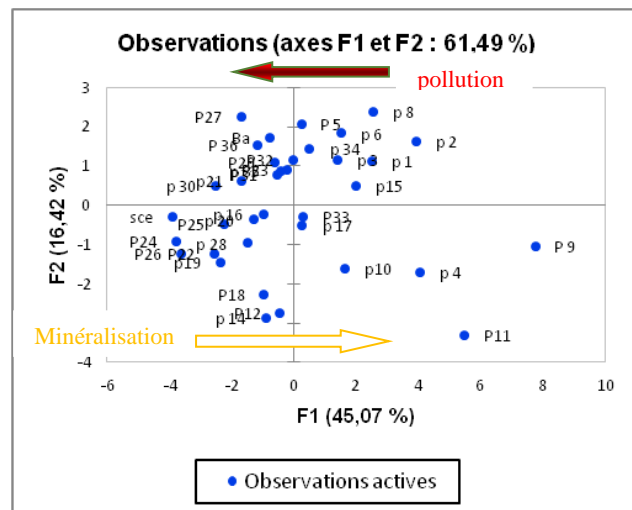


Fig. 68. Plan des individus

➤ **Analyse statistique de la pollution métallique.**

L'examen de la matrice de corrélation (tableau 17) entre variables révèle que les corrélations linéaires sont positives (les variables varient, en moyenne, dans le même sens), ceci pour la conductivité et le cuivre avec ( $r = 0.728$ ) et cuivre et manganèse avec ( $r = 0.754$ )



Tableau 17 Matrice de corrélation de Pearson

Variabes	T (°C)	pH	CE	Pb	Fe	Cu	Ni	Mn
T (°C)	<b>1</b>							
pH	0,154	<b>1</b>						
CE	-0,045	0,255	<b>1</b>					
Pb	0,402	0,004	0,105	<b>1</b>				
Fe	-0,361	0,183	-0,255	-0,414	<b>1</b>			
Cu	-0,097	0,261	<b>0,728</b>	0,045	-0,249	<b>1</b>		
Ni	-0,053	0,011	0,132	-0,220	-0,107	-0,181	<b>1</b>	
Mn	-0,198	0,231	0,384	-0,147	-0,122	<b>0,754</b>	-0,116	<b>1</b>

➤ **Plan et cercle F1xF2**

Dans le plan factoriel F1x F2, la 1<sup>ère</sup> composante (axe F1) (Tableau18), décrit la surcharge de l'eau par cuivre (0,915), et manganèse (0,792). La 2ème composante (axe F2) décrit l'enrichissement des eaux en Pb (0,805).

De la gauche à la droite l'axe F1, traduit donc un gradient croissant d'une surcharge des eaux en cuivre et manganèse. Et du bas vers le haut, l'axe F2, traduit un gradient croissant de l'eau par le Pb. Qui s'oppose par le fer.

	F1	F2	F3
T (°C)	-0,040	0,762	-0,108
pH	<b>0,388</b>	-0,099	-0,299
CE	<b>0,806</b>	0,036	0,269
Pb	0,106	0,805	-0,205
Fe	<b>-0,332</b>	-0,697	-0,401
Cu	<b>0,951</b>	-0,067	-0,063
Ni	-0,095	-0,115	0,883
Mn	<b>0,792</b>	-0,281	-0,091

Fig. 69. Vecteurs propres

Tableau 18. Corrélations entre les variables et les facteurs

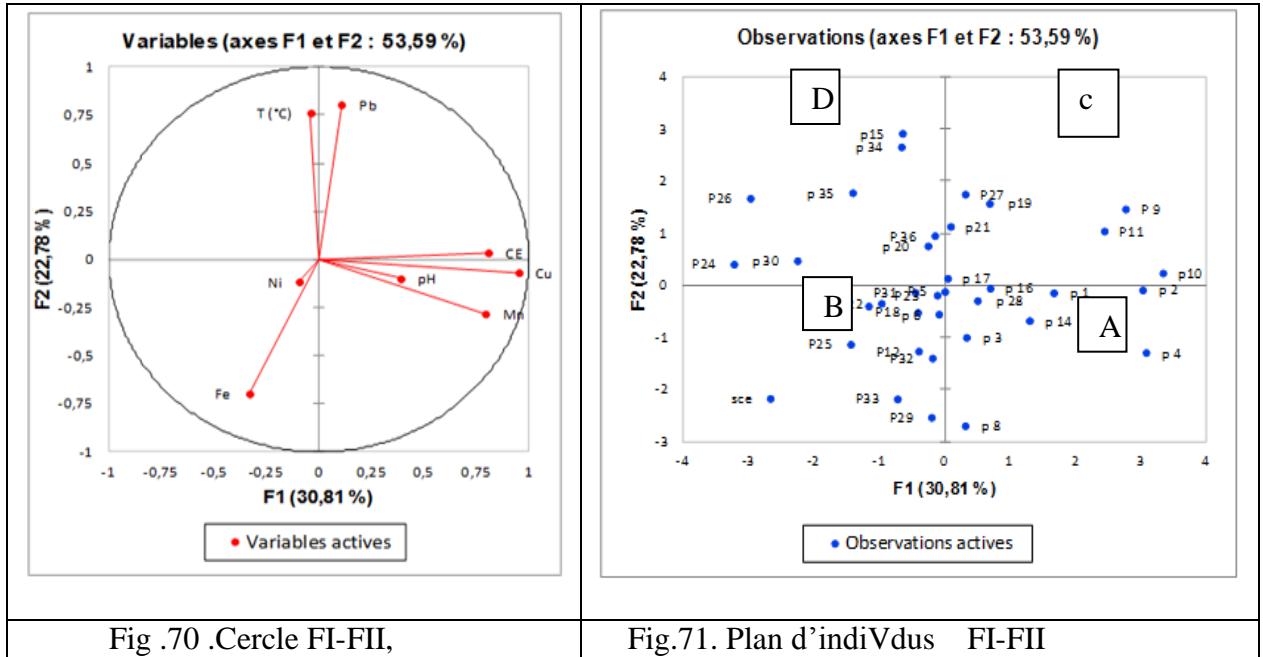


Fig .70 .Cercle FI-FII,

Fig.71. Plan d'indiVdus FI-FII

La structure typologique dégagée par le plan F1xF2 (Fig.71) montre les puits selon leur degré de contamination :

-la zone A représente Les puits qui se localisent au seins et a limitrophe de la décharge se caractérisent par une pollution importante en éléments métalliques notamment Le Cu, Mn., cas des puits p2et p4 ; s'oppose à la zone D des puits qui se trouvent loin de la décharge p35, p36, dont les eaux se caractérisent par une faible pollution en ces éléments.

La zone B représente les puits contaminé par le Fer cas p29, p25, p33 .s'oppose à La zone c qui représente les puits contaminé par Le plomb.

➤ **Cercle et plan F1xF3**

L'examen de la Figure 72 (partie gauche), basée sur la représentation des deux premières composantes de l'ACP F1xF3- expliquant 45,40 % de la variabilité totale ; l'axe F3 décrit la surcharge en Nickel avec 0.883

- l'axe F1 confirme l'existence d'une association relation entre Cu et Mn contamination dans la zone A schématisé dans le plan des individus par les points qui se trouve au seins et à la sortie de la décharge .le pole positif de l'axe F3 qui est présenté par une forte pollution par le Nickel dans la zone D schématisé dans le plan des indiVdus par les points (p12, p18.....) a la sortie de la décharge et les puits qui se trouve auprès de l'oued zied.

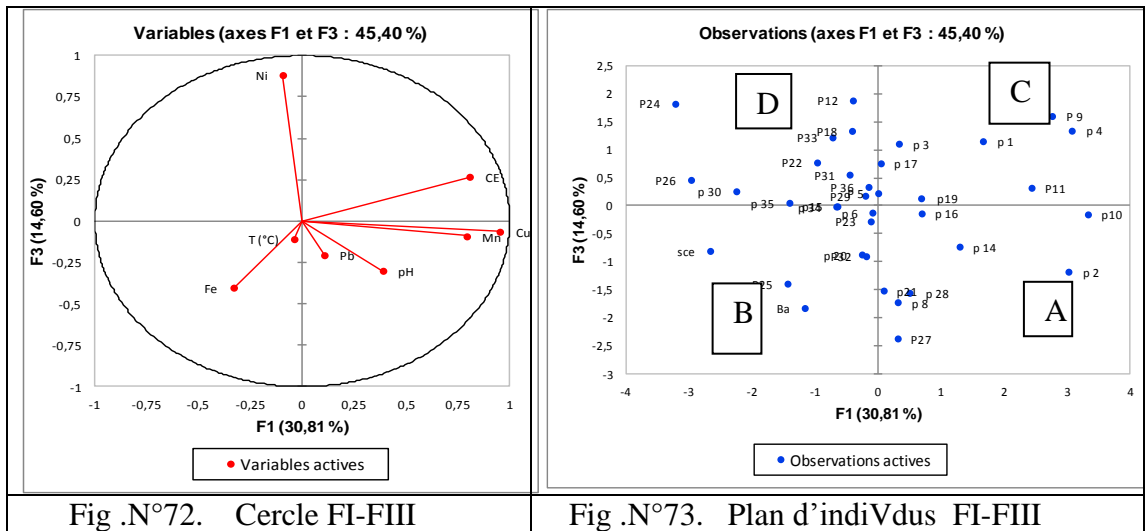


Fig .N°72. Cercle FI-FIII

Fig .N°73. Plan d'individus FI-FIII

➤ **Conclusion :**

A la lumière des résultats obtenus au niveau des paramètres physico chimiques et des ETM mesurés au niveau de notre zone d'étude on constate une dégradation de la qualité de l'eau due à la présence de la décharge en amont de notre zone d'étude.

Ces résultats ont fait l'objet d'une analyse en composantes principales dont l'objet ultime de faire une interprétation des résultats obtenus, de ressortir la corrélation existante entre les différents paramètres.

L'analyse en composantes principales en utilisant les paramètres physicochimique et les ETM nous a permis de différencier une zonalité de la qualité de l'eau dans la zone d'étude.

La première zone. Où la minéralisation est très forte et pollué se situent au niveau des puits qui se localise au sein et au limitrophes de la décharge

Une deuxième zone ou la minéralisation est moins forte et pollué dite intermédiaire entre la décharge et le lac (puits qui se localise au près de oued gouilla et oued zied)

Une troisième ou la minéralisation est faible moins pollué dans les eaux des puits au Nord

**VI.7 APTITUDE DES EAUX DE LA ZONE D’ETUDE A L’IRIGATION.**

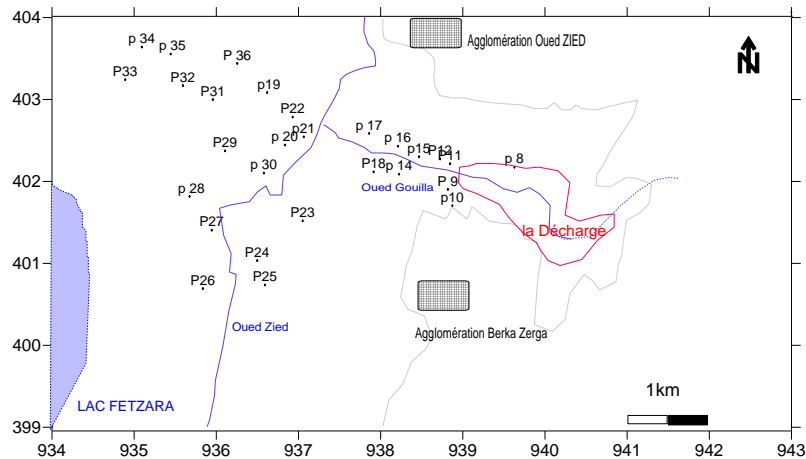


Fig .N°74 : carte de situation géographique de la zone et position des puits étudiés.

**VI.7.1 Caractéristiques physiques**

**VI.7.1.1 La température :**

Les valeurs mesurées varient entre 14°C et 18°C, le maximum est observé aux points P8 et P9 et le minimum au puits P33.

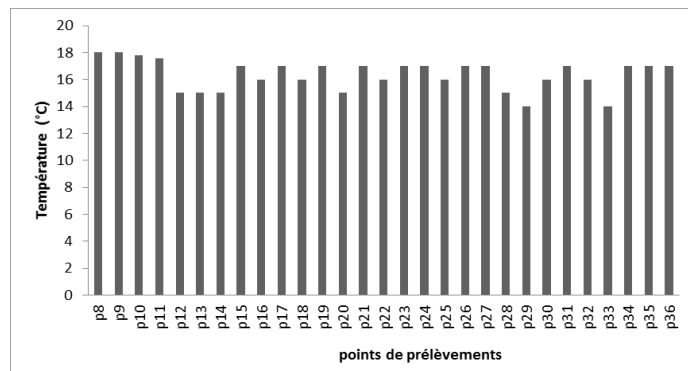


Fig.N°75. Variation de la température dans l’eau de la nappe.

**VI.7.1.2 Le pH :**

Les valeurs du pH varient entre 5,8 et 9,7 pour les eaux de la plaine d’oued Zied. La valeur minimale est enregistrée aux puits 14 et 26 et la maximale aux puits 23 et 36.

- Si l’on se réfère aux Normes établies de la FAO 1976 (bulletin d’irrigation et de drainage N=29), on remarque dans le cas des eaux de la région :

-pour les valeurs de pH inférieures à 6.5, le risque lié à l'utilisation des eaux pour l'irrigation est nul, c'est le cas des eaux des puits P12, P14, P18, P22, P24, P25, P26, P35.

- Pour des valeurs du pH comprises entre 6.5 et 8.4, cas des puits P8, P9, P10, P11, P13, P15, P16, P17, P18, P19, P20, P21, P23, P27, P28, P30, P31, P32, P33, P34 et P36, le contrôle de pH est souhaité.

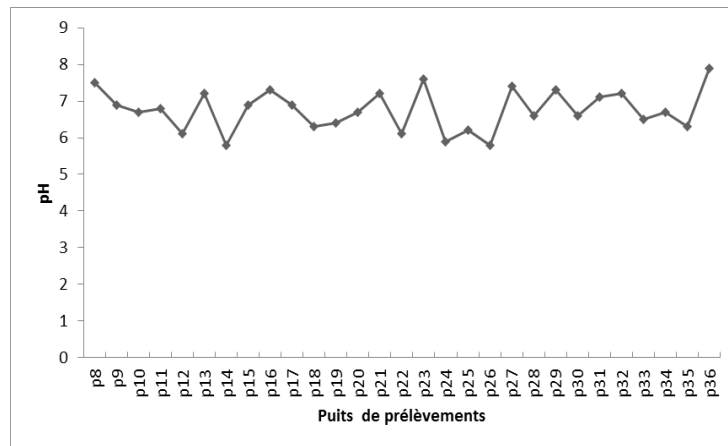


Fig.N°76. Variation du pH de l'eau mesuré au niveau des puits de la zone d'étude.

Le tableau suivant, montre la répartition des puits par rapport au pH mesuré.

Tableau 19. Classification des valeurs du pH, pour l'irrigation ((FAO, 1976)

Risque	pH	Puits
Nul	< 6.5	P12, P14, P18, P22, P24, P25, P26, P35
Léger à modéré	6.5-8.4	P8, P9, P10, P11, P13, P15, P16, P17, P18, P19, P20, P21, P23, P27, P28, P30, P31, P32, P33, P34 et P36,
Sévère	>8.4	

**VI.7.1.3 La conductivité électrique (CE) :**

La valeur maximale est enregistrée au puits P9 avec 2871 µS/cm, et la valeur minimale est enregistrée au puits P26 avec 512 µS/cm. La conductivité est élevée dans les puits limitrophes de la décharge, mais elle diminue progressivement en s'éloignant vers la plaine. Si l'on considère que la Normes établie de la FAO 1976

(bulletin d'irrigation et de drainage N=29) de la conductivité électrique est de 750  $\mu\text{s}/\text{cm}$  ainsi on peut établir la répartition suivante :

Les eaux des puits P22, P24, P26 présentent des valeurs inférieures à 750  $\mu\text{s}/\text{cm}$ , le risque est donc nul. Les points P8, P9, P10, P11, P12, P13, P14, P15, P16, P17, P18, P19, P20, P21, P23, P25, P27, P28, P29, P30, P31, P33, P34, P35 et P36 sont caractérisés par des valeurs comprises entre 750 et 3000  $\mu\text{s}/\text{cm}$ . Ces eaux présentent donc un risque significatif.

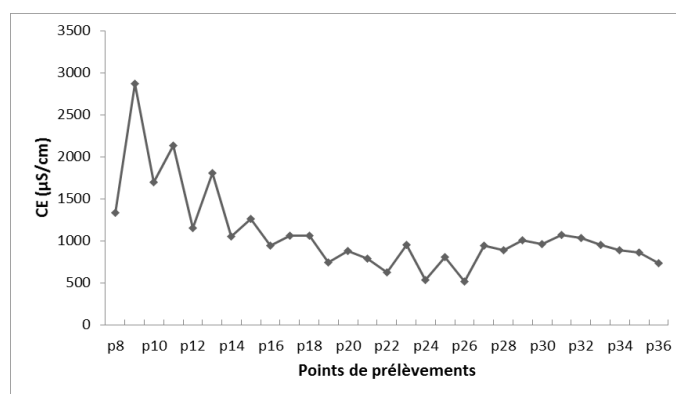


Fig .N°77. Variation de la conductivité électrique mesurée au niveau des puits.

Le tableau suivant, donne un aperçu sur la répartition des puits en fonction du risque d'utilisation généré par la conductivité.

Tableau.20 : Répartition des puits analysés suivant la norme FAO, 1976

Risque	CE ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	Puits
Nul	< 750	P23, P24, P26
Légers à modéré	750-3000	P8, P9, P10, P11, P12, P13, P14, P15, P16, P17, P18, P19, P20, P21, P23, P25, P27, P28, P29, P30, P31, P32, P33, p34, P35 et P36
Sévère	>3000	

### VI.7.2 Caractéristiques chimiques des eaux :

Le dépiollement des résultats des analyses effectuées a montré que les eaux de la zone présentent deux types de faciès chimiques (Sameh HABES)

-un premier chloruré sodique caractérisant les eaux situées au contre bas de la décharge.

-le second sulfaté calcique caractérisant surtout les eaux issues du massif de l'Edough. Un petit nombre d'échantillon présente un faciès bicarbonaté.

#### VI.7.2.1 T.D.S ou Taux des Sels Dissous :

L'observation des valeurs mesurées, montre que les eaux des puits P22, P24 et P26 présentent les plus faibles valeurs de TDS, de l'ordre de 450 mg/l. Le reste des puits présente une TDS, plus élevée pouvant atteindre 2000 mg/l (fig.78). Constituant éventuellement un risque sur le développement des plantes.

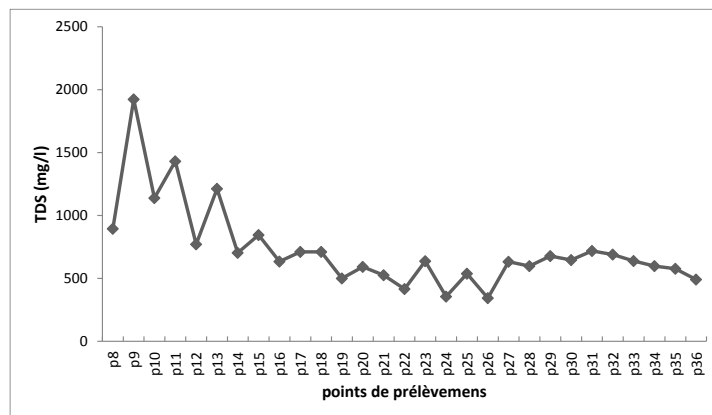


Fig.N°78 : Variations de la TDS mesurée au niveau des puits étudiés.

Le tableau suivant donne un aperçu sur la répartition des puits selon les classes déterminées par la FAO 1976 (bulletin d'irrigation et de drainage N=29).

Tableau .21: Répartition des puits en fonction des classes TDS.

Risque	TDS (mg/l)	Puits
Nul	< 450	P22, P24, P26 -
Léger à modéré	450-2000	P8, P9, P11, P12, P13, P14, P15, P16, P17, P18, P19, P20, P21, P23, P25, P27, P28, P29, P30, P32, P33, P34 et P35

Sévère	> 2000	-
--------	--------	---

### VI.7.2.2 TH (Dureté de l'eau ou titre hydrométrique)

Les valeurs du TH varient entre les puits P9 et P24. La forte valeur est relevée à proximité de l'Oued Gouilla (P9) avec 288,08 mg/l et le minimum observé au point P24 est de 46,4 mg/l. On remarque que les valeurs diminuent selon le sens de l'écoulement d'oued Zied et cela des puits au centre de la plaine (P19, P22, P24, P26, P28). On note un accroissement de la dureté dans la zone proche du lac, ceci est lié aux différentes arrivées d'eau.

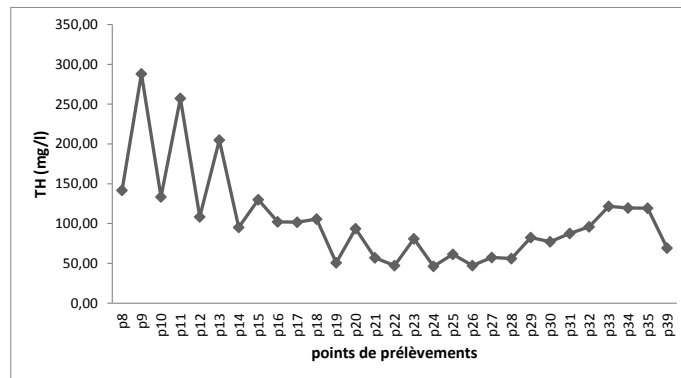


Fig.N°79.Variations de la dureté des eaux des puits analysés.

### VI.7.2.3. D.B.O<sub>5</sub> ou Demande Biologique d'Oxygène cinq jours :

Les valeurs déterminées varient entre 1.32 mg/l et 25 mg/. La valeur maximale enregistrée au P8 juste à proximité de la décharge et la valeur minimale est enregistrée au P33.

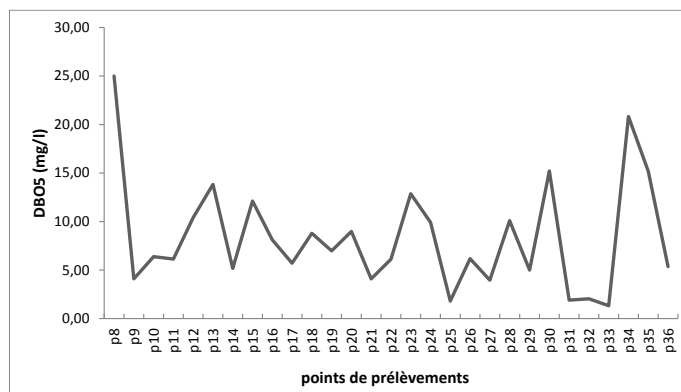


Fig .N°78. Variation de la DBO<sub>5</sub> des points des prélèvements



**VI.7.2.4 Les Chlorures :**

Les analyses d'eau réalisées montrent que les eaux des puits P23, P24, P25, P27et P28, ont des teneurs faibles de l'ordre de 150 mg/l. En revanche, les concentrations dans les eaux des points P8, P9, P11, P12, P13, P14, P15, P16, P17, P18, P19, P20, P21, P22 , P29, P30, P31, P32, P33, P34 et P35 sont supérieures à 150mg/l. Ceci nous permet de dire que les eaux de la première classe ne sont pas très chargées en sel et ne posent aucun problème en matière de salinité pour l'environnement et l'irrigation.

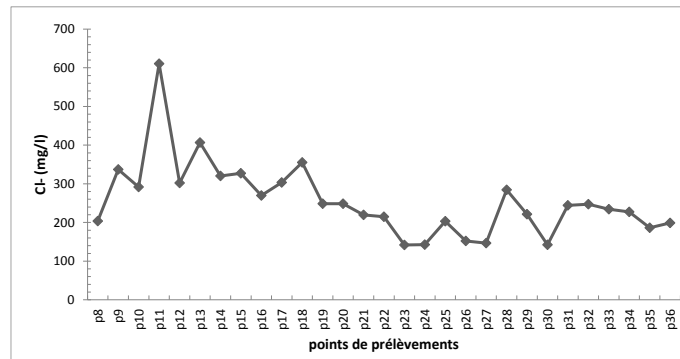


Fig .N°81. Variations des teneurs en chlorures des eaux analysées

Le tableau suivant donne la répartition des puits de la région en fonction des classes définies par la FAO en 1976 (bulletin d'irrigation et de drainage N=29) pour les chlorures.

Tableau.22 : Classification des Chlorures par rapport à la Norme

Risque	Chlorures (mg/l)	Puits
Nul	< 150	P22, P24, p27, p30
Léger à modéré	150 à 350	P8, P9, P12, P13, P14, P15, P16, P17, P18, P19, P20, P21, P23, P25 , P27, P28, P29, P30, P31, P32, P33, P34
Sévère	> 350	P11, p13

**VI.7.2.5 Les Bicarbonates :** L'observation de la figure 82, montre une variation des concentrations des bicarbonates de manière hétérogène. Ces mêmes concentrations

varient 20 mg/l à plus de 250 mg/l. Les puits présentant les faibles concentrations sont :

les résultats obtenus montrent que les eaux des puits P10, P12, P15, P16, P18, P19, P22, P17, P19 et P21 à l'inverse les eaux des puits P9, P11, P14, P18, P20, P23, P25, P27, P29, P30, P31, P32, P33, P34, P35 et P36 sont riches en bicarbonates. Cette interprétation, nous amène à dire que les calcaires sont présents mais de manière éparses.

Le tableau suivant montre la répartition des puits en fonction des teneurs en bicarbonates selon la grille élaborée par la FAO 1985.

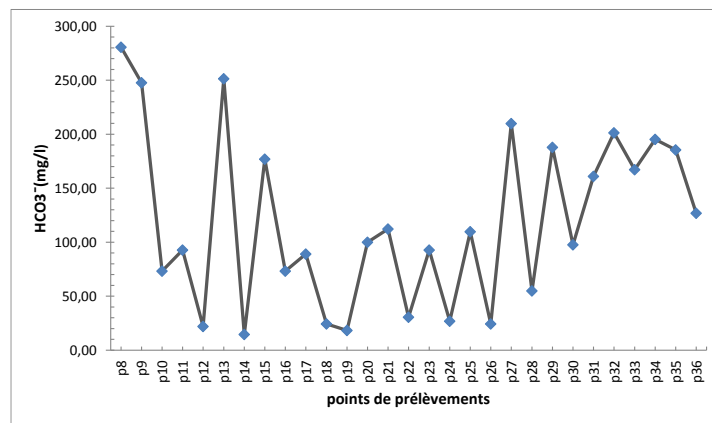


Fig .N°82. Variation de la HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> des points des prélèvements

Tableau .23: Répartition des puits selon le risque établie par la FAO 1985.

Risque	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	Puits
Nul	< 90	P10, P12, P15, P16, P18, P19, P22, P24, P26 et P21
Légers à modéré	90-250	P9, P11, P14, P18, P20, P23, P25, P27, P29, P30, P31, P32, P33, P34, P35 et P36
Sévère	> 250	P8

V.7.2.6 : Le Sodium :

Les résultats obtenus montrent que la valeur maximale, enregistrée au niveau du puits p9, est de 140,50 mg/l et la minimale de 45,80 au puits p 30. On constate que les valeurs enregistrées varient en diminuant en allant vers la plaine d'oued Zied (Fig.83). Le sodium joue un rôle néfaste sur le développement des plantes. Si l'eau est riche sodium, ce dernier sera piégé par le sol entrainant ainsi une baisse de la perméabilité, se traduisant par une asphyxie de la plante entrainant ainsi sa mort. Pour l'irrigation des plantes la dose minimale en sodium doit être de l'ordre de 69 mg/l [Norme de la FAO(1976),]. En observant les concentrations déterminées, nous remarquons la répartition suivante :

-Les eaux des puits P24 et P30, présentent des concentrations inférieures à 69 mg/l, de ce fait ces eaux, ne présentent aucun danger pour les plantes.

-Les eaux des puits P8, P9, P10, P11, P12, P13, P14, P15, P16, P17, P18, P19, P20, P21, P23, P25, P27, P28, P29, P31, P32, P33, P34, P35 ,P36, présentent des concentrations supérieures à 69 mg/l, ainsi ces eaux doivent subir les contrôles périodiques pour évter d'exposer les plantes à l'asphyxie.

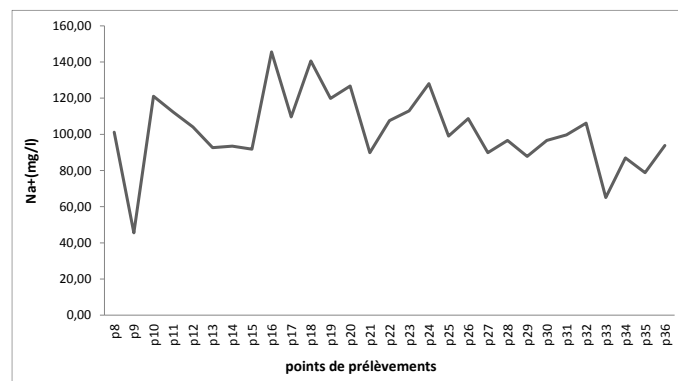


Fig.N°83. Variation des teneurs en Sodium au niveau des puits étudié.

Le tableau suivant donne la répartition des puits étudié en fonction des classes d'utilisation déterminées pour le sodium.

Tableau.24 : Répartition des puits en fonction des classes de risque (sodium).

Risque	Na (mg/l)	Puits
Nul	< 69	P24 et P30
Léger à modéré	69 - 207	P8, P9, P10, P11, P12, P13, P14, P15, P16, P17, P18, P19, P20, P21, P23, P25, P27, P28, P29, P31, P32, P33, P34, P35 ,P36
Sévère	> 207	-

- **Effets du sodium sur la santé et l'environnement** : Ce produit chimique n'est pas mobile dans sa forme solide, bien qu'il absorbe l'humidité très facilement. Une fois sous forme liquide, l'hydroxyde de sodium pénètre rapidement dans le sol sous forme de lixiviation, souillant probablement des sources d'eau [MAJOR Habiba (2010),]

### VI.7.3 Les ETM ou éléments métalliques traces :

Le Plomb, le cuivre, le fer, le nickel et le manganèse, sont parmi les métaux lourds pouvant être présents dans les lixiviats de décharges et sont également responsables des pollutions urbaines. [KHELFAOUI Hakim (2014)]. Les analyses réalisées par nos soins ont montrés la présence de ces ETM. Nous allons étudier la répartition de ces métaux dans les eaux de la zone d'étude.

#### VI.7.3.1 Le Plomb (Pb)

Le plomb, l'un des éléments les plus nocifs, provient des débris de corrosion des anciennes canalisations, de la fusion des minerais, des stations de décapage et de la combustion des carburants [Y. Ma, S.J. Traina, S.J. Logan, J.A. Ryan, (1995),]. Son suivi analytique a révélé une présence plus au moins importante qui peut nuire à l'homme et son environnement.

Les valeurs relevées témoignent d'une contamination irrégulière et parfois importante des eaux de la nappe. La valeur minimale du plomb, 0,035 mg/l, est enregistrée au

niveau du puits P32 et une valeur maximale de 1.1 mg/l est enregistrée au niveau du point P15.

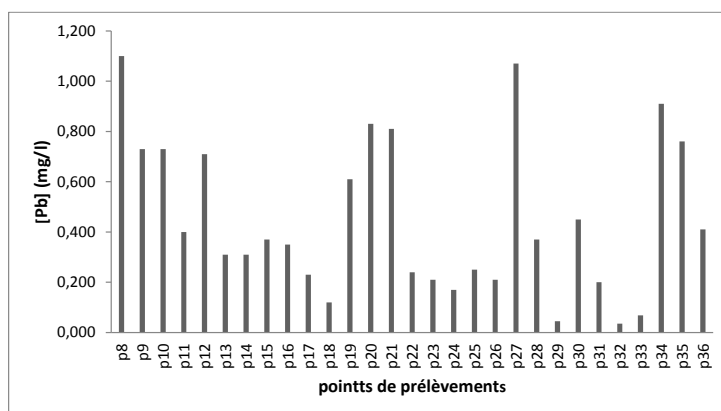


Fig .N°84. Variation des concentrations en Plomb au niveau des points prélevés

**VI.7.3.2 Le Cuivre :** La valeur maximale de Cuivre enregistré au puits (P10) avec 1,98 mg/l et la valeur minimale est enregistrée au puits P24 avec 0,07 mg/l.

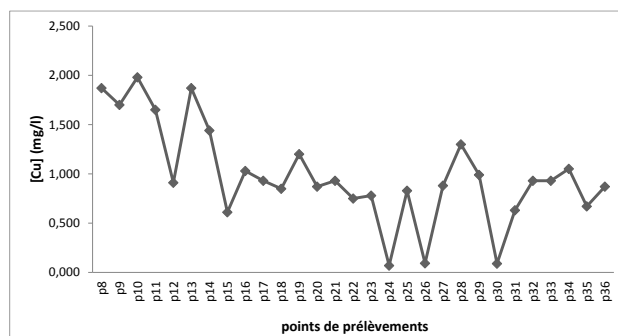


Fig.N°85. Variations des concentrations du Cuivre

**VI.7.3.3 Le Fer** La norme pour le Fer est de 0.2 mg/l (FAO ,1976). Les résultats obtenus montrent que presque la totalité eaux des puits présente des valeurs supérieures à la norme (Fig.N°86).

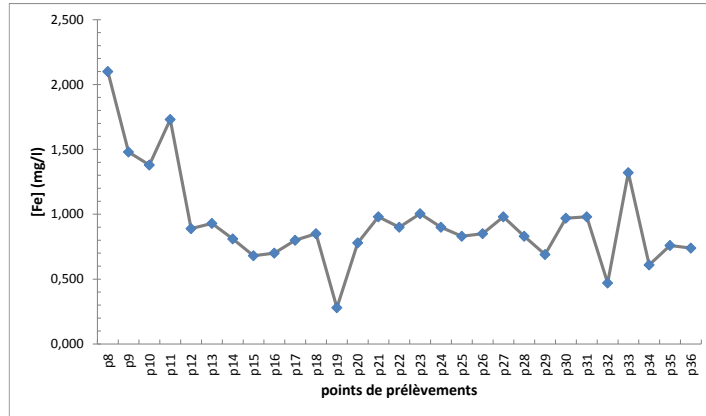


Fig.N°86. Variation des concentrations du Fer dans les puits étudiées.

Les concentrations en fer sont très élevées, les eaux analysées peuvent contenir jusqu'à 2.5 mg/l de fer.

Le tableau suivant montre les risques encourus par l'excès du fer dans les eaux.

Tableau.25 : Représentation du risque de Fer (FAO, 1985)

Risque	Fe (mg/l)	Puits
Nul	< 0.2	-pas de puits
Légers à modéré	0.2-1.5	P9,p10, p12,p13,p14,p15,p16,p17,p18,p19,p20, p21,p22,p23, p25, p26, p20, p28, p29 , P31, p32, p33, p34, p35, p36.
Sévère	> 1.5	P8, p11

Le Schéma suivant (Fig .N°87), élaboré par TH Debièche, synthétise l'évolution du fer entre les Oueds et la nappe.

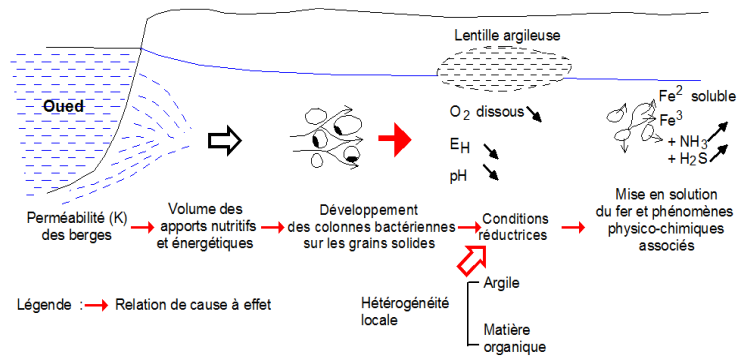


Fig.N°87. Evolution probable des teneurs en fer dans la zone d'étude (Debièche, 2002)

**VI.7.3.4 Le Nickel :** La majorité des valeurs observées dans les puits de la plaine d'Oued Ziad est élevée. La forte valeur est enregistrée au niveau du P24 avec 0,209 mg/l et le minimum au puits P28 avec 0,018 mg/l.

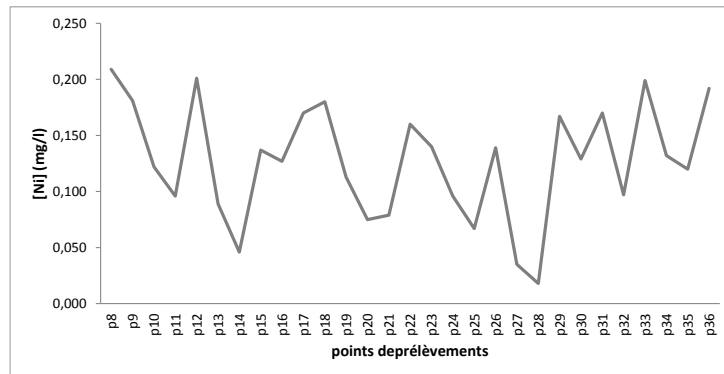


Fig.N°88. Variation du Nickel des points des prélèvements

Le nickel relâché dans les eaux de surface est adsorbé par les sédiments et les matières en suspensions deviennent immobiles. Cependant, dans les sols acides, le nickel devient mobile et peut atteindre les eaux souterraines et les polluer [TOUMI. Faycal (2008), ]

**VI.7.3.5 Le Manganèse**

Les résultats obtenus montrent que les eaux des puits P24 et P30 présentent des valeurs faibles, par contre, les autres puits sont riches en manganèse, ce qui compromet leurs utilisations pour l'irrigation.

L'existence de ces doses a des conséquences environnementales néfastes (T. Z. Bikashvli, 2001, ABE Masaki ,2006).

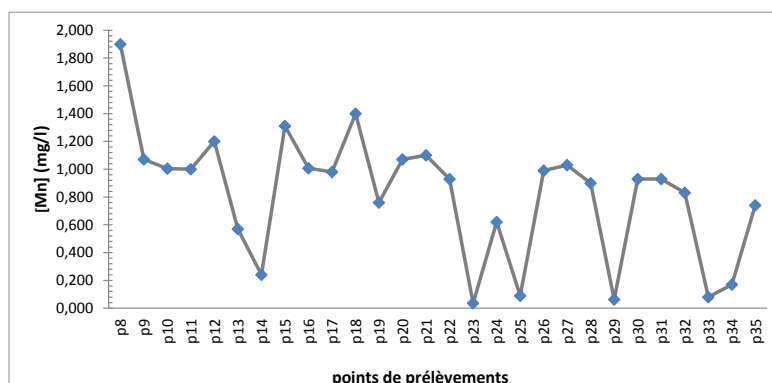


Fig.N°89. Variation du Manganèse dans les eaux analysées.

Le tableau suivant classe les concentrations du Manganèse en fonction du risque établie par la FAO 1985.

Tableau 26 ; Représentation du risque du Manganèse FAO 1985.

Risque	Mn (mg/l)	Puits
Nul	< 0.1	P23, p25, p29, p35
Léger à modéré	0.1-1.5	P9, P18,P12,P13 ,P14, P15, P16, P17, , P19, P20, P21, P22, P24, P26,P27, P28, P30, P31, P32, P33, P34, et P36
Sévère	> 1.5	P8

#### VI.7.4 Autre risque de pollution

La zone d'étude est caractérisée par l'interférence de plusieurs sources de pollution, ainsi outre le risque de dégradation de la qualité des eaux par les lixiviats de la décharge, nous pouvons ajouter la pollution issue du retour des eaux d'irrigation (L. DJABRI, et al, 2003). En effet la zone d'étude est à vocation agricole, ce qui nécessite une irrigation des plantes à partir des eaux des puits et des Oueds recensés. Nous allons nous intéresser aux méfaits de cette utilisation.

##### VI.7.4.1 Le retour des eaux d'irrigation, une autre source de pollution :

La zone d'étude est caractérisée par des pratiques agricoles, les cultures pratiquées sont saisonnières (melons, pastèques, tomates industrielles..), leurs bons rendements nécessitent l'utilisation de fertilisants. L'irrigation de ces cultures crée un cycle mettant en évidence un retour des eaux d'irrigation vers le sol d'où un accroissement de la pollution. (L. DJABRI 2001, HABES ,2011 ) Cette situation est résumée dans la figure suivante :



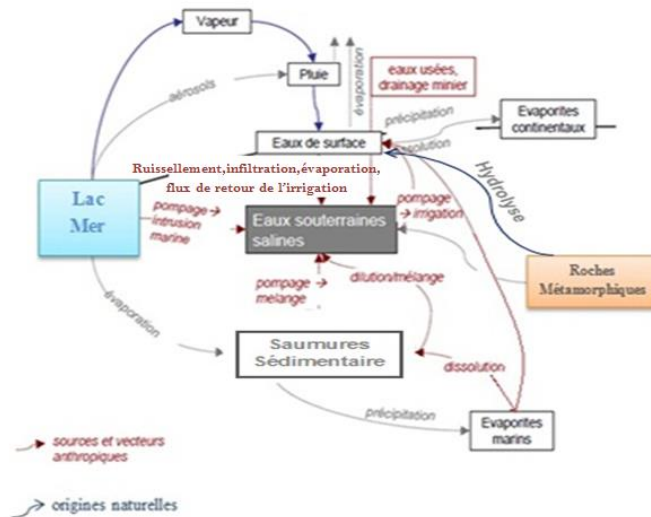


Fig.N°90. Les sources de pollution recensées : cas de la zone d'étude (In Habes 2013)

### VI.7.5 Critères de qualité des eaux d'irrigation

Les eaux d'irrigation obéissent à certains critères, dont la conductivité, le sodium, calcium.... De nombreux chercheurs ont travaillé sur les limites d'utilisation des eaux à des fins agricoles (In Habes 2013). Parmi les premiers travaux, il a le travail réalisé en 1954 Richards, dans ce cas il a combiné Le SAR et la conductivité, ce qui a donné huit classes allant de la très bonne à la très mauvaise en matière d'irrigation.

D'autres travaux ont été réalisés ce qui a généré d'autres méthodes tel que celle de Wilcox, ce dernier dans son diagramme a combiné le %Na à la conductivité, ce qui lui a permis de définir quatre classes allant de la bonne à médiocre. Les méthodes utilisées permettent une évaluation du risque potentiel de salinisation des sols. (ZAHF Faouzi ,2012)

#### VI.7.5.1 Définition des classifications des eaux d'irrigation

Parmi les classifications les plus utilisées, il y a Richards, Wilcox, Greene, Doneen, Durand, United States Salinity Laboratory Staff de Riverside en Californie....

Pour réaliser notre travail, nous avons utilisé les classifications de Richards et de Wilcox. Le diagramme de Richards se base sur la combinaison de la conductivité électrique et Le SAR (taux d'absorption du sodium). Par contre le diagramme de Wilcox, combine le pourcentage de Na et la conductivité. Ces deux méthodes sont utilisées pour évaluer le risque potentiel de salinisation des sols et pour contrôler les effets négatifs des eaux d'irrigation sur les sols et les plantes.

**VI.7.5.2 Diagramme de Richards :**

Le SAR (Sodium Absorption Ratio), est calculé par la formule suivante :

$$SAR = Na / \sqrt{Ca+Mg/2} \text{ ou } SAR = Na + /0.5 [(Ca^{2+} Mg^{2+})]^{1/2}. \text{ Les concentrations en meq/l.}$$

Les résultats obtenus à partir du calcul du SAR, sont reportées sur le diagramme en fonction de la conductivité. Le diagramme suivant (fig.91), montre :

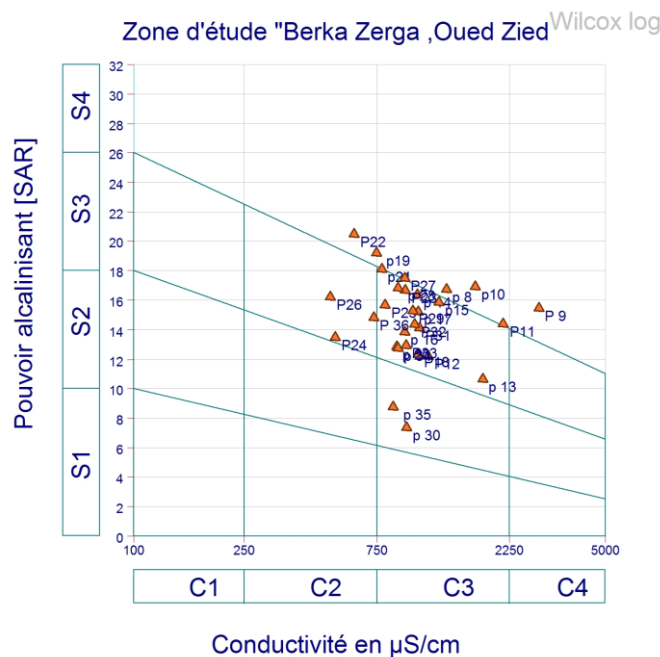


Fig .N°91. Diagrammes de Richards : eaux de la plaine d'oued Zied

L'observation de la précédente figure montre les eaux se répartissent dans les classes suivantes : C3S2, C2S3, C3S3, C4S3, C2S4, C3S4 et C4S4, cependant la majorité des échantillons sont présents au niveau de la classe C3S3.

Cette répartition, montre que les eaux analysées doivent être contrôlées avant leur utilisation. Ainsi les eaux des classes C2S3, C2S4, C3S2, représentent 24.13% des puits analysés. Il s'agit des puits P24, P26, P36, P19, P22, P30 et P35. Les eaux conviennent à l'irrigation des cultures tolérantes aux sels, sur des sols bien drainés. L'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée.

Pour les eaux appartenant à la classe C3S3, soit 62.06%, des eaux des puits analysés, ces eaux conviennent à l'irrigation des espèces bien tolérantes aux sels et sur des sols bien drainés.

Les eaux appartenant aux classes C3S4 et C4S4, soit 13.80% des puits analysés, nous notons qu'elles ne conviennent pas à l'irrigation mais en cas d'utilisation il faut que le sol soit très perméable, bien lessivé et les plantes doivent être tolérantes aux sels.

### **VI.7.5.3 Diagramme de WILCOX**

Le diagramme de Wilcox, combine le pourcentage de Na et la conductivité. Le pourcentage de Na est donné par la formule suivante :

$$\%Na = \frac{Na + K}{Ca + Mg + Na + K} * 100 \text{ (les concentrations en meq/l).}$$

L'observation du diagramme (fig.92), fait ressortir la répartition suivante :

- eaux d'excellente qualité : les échantillons appartenant à cette classe sont nombreux, ce qui indique que ces eaux conviennent à l'irrigation sans poser de risque.
- eaux de bonne qualité : la majorité des échantillons analysés appartiennent à cette classe, confirmant ainsi la convenance des eaux à l'irrigation.
- le reste des échantillons (deux), caractérisent les eaux de qualité médiocre.

A partir de cette interprétation, nous pouvons déduire que les eaux conviennent à l'irrigation, seuls les nutriments pourront dégrader la qualité des eaux il n'y a pas de risque de salinisation des sols.

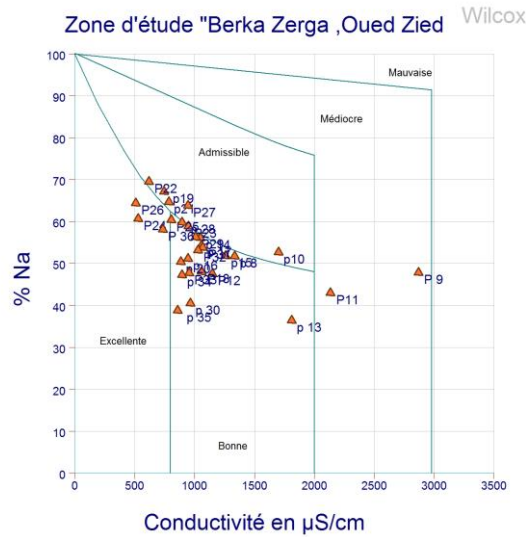


Fig .N°92. Diagrammes de Wilcox : eaux de la plaine d’oued Zied.

Tableau.27 : pourcentage de Sodium.

Tableau 28 : SAR (Sodium Absorption Ratio).

puits	Na%	puits	Na%
p8	51.66	P22	60,51
p9	47.84	P23	58.90
p10	52.67	P24	60.74
p11	43.06	P25	60.37
p12	47.59	P26	64.46
p13	36.45	p27	63.83
p14	56.13	P28	59.91
p15	51.80	p29	56.22
p16	51.09	P30	40.50
p17	54.32	P31	53.85
p18	48.06	P32	53.18
p19	64.21	P33	47.70
p20	50.39	P34	47.33
p21	64.74	P35	38.86
		P36	58.13

puits	S.A.R	puits	S.A.R
p8	13,02	P22	20,51
p9	11,70	P23	16,70
p10	14,66	P24	13,51
p11	11,17	P25	15,70
p12	12,19	P26	16,25
p13	10,63	p27	17,53
p14	16,36	P28	16,82
p15	15,88	p29	15,26
p16	13,84	P30	7,36
p17	15,25	P31	14,14
p18	12,37	P32	14,37
p19	19,20	P33	12,95
p20	12,84	P34	12,77
p21	18,12	P35	08,81
		P36	14,85

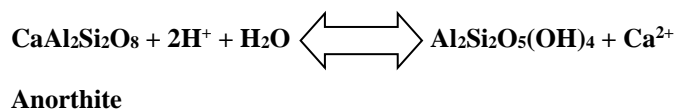
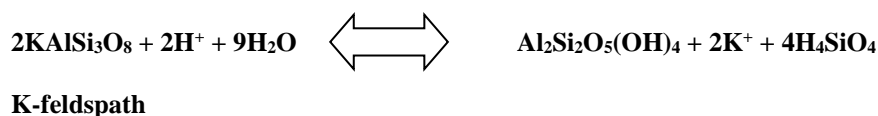
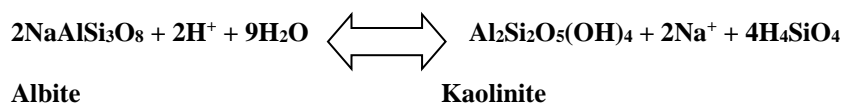
### VI.7 .6 DISCUSSION DES RESULTATS

La présente étude est une contribution à la caractérisation de la qualité de l'eau dans la plaine d'Oued Zied. Les eaux alimentant cette zone sont issues soit le décharge Berka Zerga, ce qui explique l'hétérogénéité de la qualité. Par le biais de ce travail, nous allons essayer d'expliquer les origines de la qualité des eaux et leurs devenirs.

La décharge urbaine de Berka Zerga, par le biais de ses écoulements de ses Lixiviats riches en polluants contamine les eaux superficielles et les eaux souterraines. Le dépouillement des résultats des analyses réalisées a montré des valeurs de conductivités électriques élevées, ces dernières seraient dues à la présence des éléments chimiques, tel que le  $\text{Cl}^-$ , le  $\text{Na}^+$ , le  $\text{Ca}^{2+}$ , les  $\text{HCO}_3^-$ ,... etc. Notons que les chlorures, le sodium et le calcium, dominant ce qui confère à l'eau un faciès chloruré sodique ou chloruré calcique, ce faciès peut être secondairement sulfaté calcique.

La présence de ces faciès serait induite par la contamination des eaux provoquée par la dissolution des roches traversées qui libèrent les éléments chimiques recensés.

Les formations géologiques à l'affleurement (gneiss, schistes, micaschistes, cipolins, argile, sable, ...), par le biais des phénomènes d'hydrolyse ou d'échange de base, seraient à l'origine des concentrations observées. Ainsi le calcium proviendrait en grande partie de l'hydrolyse c'est-à-dire de l'altération des roches cristallines et de l'hydrolyse des minéraux silicatés. Le processus d'altération se déroule décrit par APPELO et POSTMA, selon les étapes suivantes :





**Pyroxène**



**Biotite**



La proportion assez importante d'anorthite dans les plagioclases et dans la formation gneissique variété la plus facilement altérable (HABES Sameh ,2013), justifie les fortes concentrations de  $\text{Ca}^{2+}$ . Les ions  $\text{Mg}^{2+}$  sont issus de la décomposition des minéraux ferromagnésiens tels que la biotite et l'amphibole présentes dans les formations gneissiques dont la décharge est implantée.

Les sols irrigués à partir de ces eaux sont exposés à une baisse de la perméabilité, ce qui expose les plantes à une asphyxie d'où leurs morts. Les métaux lourds (Pb, Cu, Fe, Ni, Mn) sont présent à des concentrations élevées dépassant les normes de la FAO pour l'eau d'irrigation particulièrement aux alentours de la décharges, ceci pourra empêcher toute pratique agricole.

La partie consacrée à l'étude de l'aptitude des eaux souterraines à l' irrigation a révélé trois types de convenances :

- des eaux de qualité admissible, présentent pour 24.13% des puits de la plaine.
- Des eaux de qualité médiocre, représentent 62.06% des puits de la plaine.
- Des eaux de mauvaise qualité, représentent 13.80% des puits de la plaine.

### **Conclusion**

Nous pouvons déduire que ces eaux sont, en général, utilisables seulement pour l'irrigation des cultures tolérantes aux sels sur des sols bien drainés, mais nécessitent un contrôle préalable de l'évolution de la salinité.

### **VI.8 Analyses chimiques du sol**

Le thématique « sol » englobe l'ensemble des sujets environnementaux et sanitaires qui ne font pas l'objet d'un traitement législatif spécifique. Il s'agit de caractériser, de contrôler, de gérer ou d'administrer de façon opportune les sujétions environnementales et sanitaires pérennes résultant de la qualité du patrimoine foncier. La question de pollution de sol par les activités industrielles ne fait l'objet d'une prise de conscience que depuis peu de temps. Du fait de la pollution suggérée dans les eaux souterraines de la zone d'étude notamment en métaux lourds, une étude par analyses chimiques du sol de la région semble nécessaire pour mieux déterminer et localiser les sources potentielles de cette pollution et lutter contre sa diffusion.

#### **VI.8.1. Définition d'un site pollué**

Un site pollué est un site qui, du fait d'anciens dépôts de déchets ou d'infiltration de substances polluantes, présente une pollution susceptible de provoquer une nuisance ou un risque pérenne pour les personnes ou l'environnement. Ces situations sont souvent dues à d'anciennes pratiques sommaires d'élimination des déchets, mais aussi à des fuites ou épandages de produits chimiques accidentels ou pas. Il existe également autour de certain sites de contamination dues à des retombées de rejets atmosphériques accumulés au cours des années voire des décennies (Y. Le Corfec, 2011).

#### **VI.8.2. Terminologie relative aux éléments chimiques**

Conventionnellement, les *éléments traces (ET)* sont les 68 éléments minéraux, constituants de la croûte terrestre, dont la concentration est pour chacun d'entre eux inférieure à 0,1 %. Ils ne représentent à eux tous que 0,6 % du total, alors que les 12 éléments majeurs interviennent pour 99,4 %. Les *éléments majeurs* sont (par ordre d'abondance décroissante) : O, Si, Al, Fe, Ca, Na, K, Mg, Ti, H, P et Mn.

Les « *terres rares* » sont un groupe de métaux qui comprend le scandium, l'yttrium et les 15 *lanthanides*. Ces éléments n'ont en fait de rare que le nom - qui se réfère à la rareté des minéraux à partir desquels ils étaient extraits à l'origine - puisqu'ils sont présents à des concentrations plus élevées que l'argent ou le mercure dans la croûte terrestre.

Les *actinides* sont des éléments chimiques radioactifs, dans le tableau périodique ces éléments se situent entre l'actinium et le lawrencium, possédant donc un numéro atomique entre 89 et 103.

### VI.8.2.1. Éléments traces

- 10 éléments représentant ensemble 0,318 % et parmi lesquels :

Fluor, 0,07 %, soit 700 mg/kg

Chlore, 0,02 %, soit 200 mg/kg

Chrome, 0,02 %, soit 200 mg/kg

Vanadium, 0,01 %, soit 110 mg/kg

- 14 éléments représentant ensemble 0,048 %, par exemple :

Nickel, 0,0080 %, soit 80 mg/kg

Zinc, 0,0065 %, soit 65 mg/kg

Azote, 0,0046 %, soit 46 mg/kg

Cuivre, 0,0045 %, soit 45 mg/kg

Cobalt, 0,0023 %, soit 23 mg/kg

Plomb, 0,0015 %, soit 15 mg/kg

- 22 éléments représentant ensemble 0,0065 % dont :

Bore, 0,0003 %, soit 3 mg/kg

Molybdène, 0,0001 %, soit 1 mg/kg

- 22 éléments représentant ensemble 0,0004 %, comme :

Iode, 0,00003 %, soit 0,3 mg/kg

Cadmium, 0,00002 %, soit 0,2 mg/kg

Sélénium, 0,000009 %, soit 0,09 mg/kg

Si les éléments traces et majeurs sont définis par rapport à leur abondance naturelle dans la croûte terrestre, les *macro-* et *micro-éléments* (métaux et non-métaux) se distinguent par les teneurs auxquelles on les rencontre habituellement dans le domaine du Vvant (Juste et *al.*, 1995). Les spécialistes s'accordent pour fixer à 0,01 % (par rapport à la matière sèche de l'organisme) le seuil de partage entre ces deux groupes d'éléments.

Parmi les micro-éléments indispensables au déroulement des processus biologiques ont site les oligo-éléments (Cu, Co, Fe, Mn, Mo, Ni, Zn, As, Cr, Se, V), la plupart d'entre eux sont toxiques dès que leur teneur excède un seuil donné.

L'expression métaux lourds est souvent employée dans le langage courant, avec une connotation volontairement péjorative. En fait certains éléments traces toxiques ne sont pas des métaux (As, Ce, ...) et d'autres présentent une masse volumique relativement faible, inférieure à 6 g/cm<sup>3</sup> (Baize D., 1997).

### VI.8.2.2 L'utilisation de métaux

Les métaux lourds étaient et sont encore utilisés à grande échelle pour toutes sortes d'applications :

- Matériaux de construction (zinc, plomb, cuivre) ;



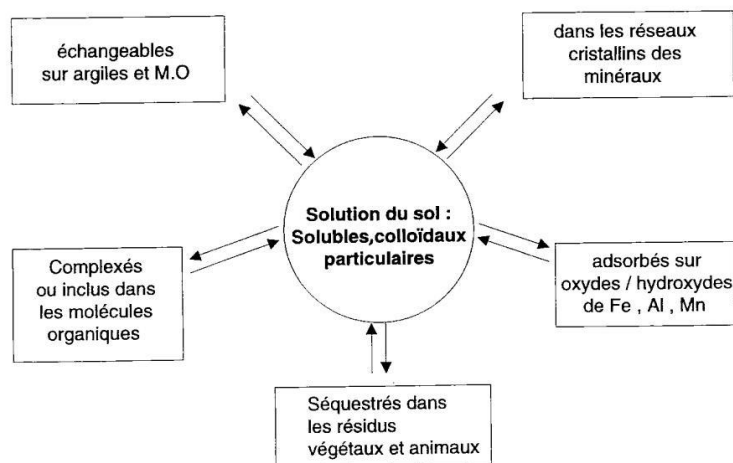
- Protection de la surface de métaux (galvanisation, chromage, nickelage) ;
- Batteries (accumulateurs au plomb, zinc, cadmium, nickel, mercure) ;
- Pigments (plomb, zinc, cadmium, etc.) ;
- Catalyseurs (entre autres nickel, cobalt, molybdène et vanadium) ;
- Conservation du bois (arsenic, cuivre, chrome, également du mercure dans le passé) ;
- Protection des cultures (arsenic, mercure, cuivre) ;
- Stabilisateurs dans PVC (notamment du plomb).

### VI.8.3 Les formes des éléments traces métalliques dans les sols

Les éléments traces peuvent se trouver dans les 6 compartiments représentés à la figure

42, associés de façons diverses aux différents constituants des sols. Ils peuvent être :

- inclus dans les réseaux cristallins des minéraux primaires (minéraux non altérés, hérités de la roche-mère) et des constituants secondaires (minéraux résultant de l'altération pédogénétique) ;
- adsorbés sur les phases hydroxylées du fer, de l'aluminium et du manganèse ;
- séquestrés dans les résidus végétaux ou animaux (ils seront libérés ensuite, au fur et à mesure de la minéralisation de ces résidus) ;
- complexés ou inclus dans les macro-molécules organiques ;
- sous une forme échangeable (cations ou anions), associés aux surfaces des minéraux argileux et aux matières organiques ;
- sous une forme solide colloïdale dans la solution du sol (phase liquide) ;



**Fig .N°93** : Différentes formes et localisations des éléments traces dans les sols  
(Baize D., 1997)

#### VI.8.3.1. Mobilité

C'est l'aptitude d'un élément de passer d'un compartiment du sol où il est retenu avec une certaine énergie dans un autre, où il est retenu avec une moindre énergie, elle caractérise donc un potentiel de transfert plus qu'un transfert effectif. On peut

facilement imaginer qu'un élément peut ainsi, au cours du temps, passer successivement dans des compartiments d'énergie de rétention décroissantes pour aboutir en fin de compte dans la solution du sol, voire dans l'atmosphère de celui-ci (cas du mercure par exemple), (Baize , 1997).

#### **VI.8.3.2 Biodisponibilité**

C'est l'aptitude d'un élément à passer d'un compartiment quelconque du sol dans un être vivant (bactérie, végétale, animal, homme).

#### **VI.8.3.3 Solubilité**

La solubilité dans l'eau indique la tendance à la mobilisation du métal par lessivage ou par ruissellement. La solubilité dépend de l'élément, des conditions chimiques de la phase aqueuse (pH, potentiel d'oxydoréduction, concentration en ligands) et des phases solides environnantes. La solubilité d'un élément peut varier selon sa spéciation, c'est-à-dire sa répartition entre différents états de valence, qui représente un paramètre essentiel notamment pour l'arsenic et le chrome.

#### **VI.8.3.4. Stabilité**

Contrairement aux contaminants organiques, les éléments métalliques sont indéfiniment stables en tant que tels et ne se dégradent pas dans l'environnement.

#### **VI.8.3.5. Volatilité**

La volatilité influe sur la libération par évaporation naturelle des polluants infiltrés dans les sols. D'une façon générale, les métaux sont considérés comme non volatiles à l'exception du mercure (CERTU, 2004).

### **VI.8.4. Contexte conceptuel**

Les teneurs en éléments traces métalliques (ETM) mesurées aujourd'hui dans les sols résultent de :

#### **VI.8.4.1. Processus naturels**

##### **VI.8.4.1.1. Fond géochimique (FG)**

Au commencement, il y a la composition chimique initiale du matériau géologique. Dans les roches plutoniques, volcaniques ou métamorphiques, divers minéraux ont cristallisé et certains peuvent être particulièrement chargés en éléments traces (par exemple la chromite, L'olivine, la garniélite). Les teneurs en éléments traces des roches sédimentaires et des alluvions dépendent largement des roches érodées en amont et transportées ensuite par les cours d'eau. Ensuite, les compositions initiales des matériaux géologiques peuvent être localement très modifiées par des minéralisations post-formation ou post-sédimentation. Ces minéralisations peuvent donner lieu à des gisements miniers plus ou moins facilement exploitables. La composition chimique finale des roches, résultant de toute leur histoire géologique sur des millions d'années, définit le fond géochimique.

**VI.8.4.1.2. Fond pédogéochimique naturel**

Le fond pédogéochimique naturel (FPGN) est la concentration d'un élément chimique dans un sol (que ce soit un élément majeur ou un élément en traces) résultant des évolutions naturelles, géologiques et pédologiques, en dehors de tout apport d'origine humaine (Baize, 1997).

Le FPGN, pour un élément donné, dépend d'abord étroitement de la composition du matériau géologique dont le sol est issu (dit alors matériau parental ou roche-mère). Mais ensuite, au fur et à mesure de l'action des processus pédogénétiques, le FPGN va se distinguer du « fond géochimique » local initial et se diversifier, verticalement et horizontalement, d'un horizon à un autre en fonction du jeu relatif des altérations et lixivations, des migrations, des redistributions et des éventuelles concentrations de matières. Ainsi, dans les cas des sols les plus « Vieux » et les plus différenciés, les fonds pédogéochimiques naturels peuvent devenir très différents des fonds géochimiques de départ, particulièrement dans certains horizons très Appauvris ou, au contraire, dans des horizons où divers métaux s'accumulent.

**Tableau.29 : Éléments traces dans les roches et les sols**

Histoire géologique (composition des roches plutoniques et volcaniques, métamorphisme, sédimentation, alluvionnement, minéralisations postérieures)	Fond géochimique (FG)
Évolution pédogénétique agissant à partir du FG	Fond pédogéochimique naturel (FPGN)
FPGN + apports anthropiques liés à l'agriculture + retombées atmosphériques diffuses	Teneurs agricoles habituelles (TAH)
TAH + apports massifs localisés	Pollutions locales

**VI.8.4.2. Divers apports**

Tels que ceux liés aux :

- Retombées atmosphériques d'origine naturelle (poussières volcaniques) ou anthropique (par exemple : poussières industrielles, ou liées aux chauffages urbains, ou à l'incinération de déchets, ou au trafic automobile).
- Pratiques agricoles liées à la gestion "classique" des parcelles (par exemple : engrais, fumiers, lisiers, amendements calcaires, oligoéléments, produits de traitements tels que les pesticides ou phytosanitaires).
- Pratiques agricoles liées à la valorisation agricole des déchets (par exemple : compost d'ordure ménagères, eaux usées, boues d'épuration urbaines).

- Pollutions flagrantes, localisées à faibles distances de sources ponctuelles industrielles ou minières, impliquant des flux importants.

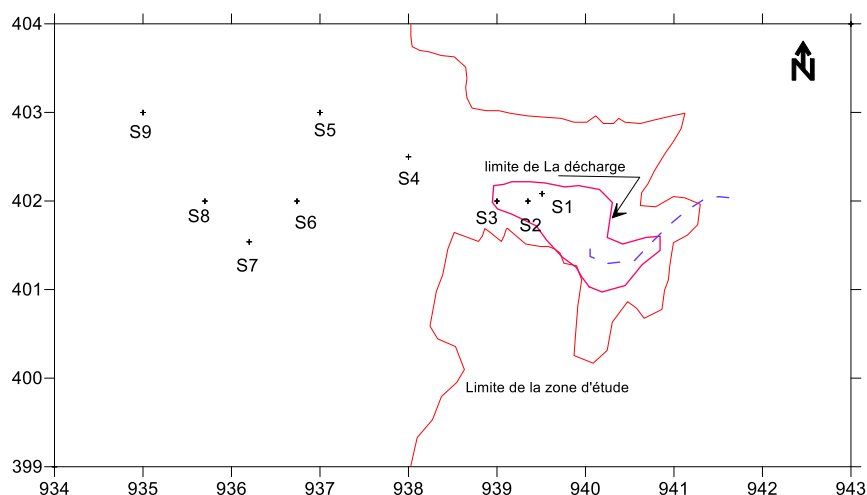
Les valeurs du fond pédogéochimique naturel en éléments traces métalliques ne peuvent pas être estimées directement à partir des teneurs mesurées dans les horizons de surface des sols. Elles sont seulement accessibles en raisonnant à partir des mesures stratifiées de manière adéquate et grâce à la connaissance du contexte pédogéologique local (Baize, 1997).

En revanche, il est généralement possible de déduire des mesures disponibles les "teneurs agricoles habituelles" (TAH) en ETM. Celles-ci sont les gammes de concentrations observées le plus fréquemment dans les horizons de surface des sols agricoles soumis à des pratiques agricoles usuelles, en l'absence de pollutions industrielles ou minières ou de contaminations majeures. Les TAH prenant déjà en compte les contaminations diffuses atmosphériques et agricoles, leur détermination peut permettre de mettre en évidence des sites fortement contaminés par rapport à d'autres ayant reçu seulement des contaminations diffuses faibles (INRA, 2007).

#### VI.8.5. Echantillonnage, traitement des échantillons

Pour mieux interpréter les analyses physicochimiques des eaux souterraines de la Région de Berka zerga et la plaine Zied, une analyse chimique complémentaire des éléments traces métalliques (métaux lourds) et non métalliques, ainsi que quelques éléments majeurs dans le sol de la zone d'étude s'est avéré nécessaire pour mieux comprendre la source et les point potentiellement responsable de la pollution.

Pour cela une campagne de prélèvement des échantillons de sol a été effectuée, elle a totalisé 09 échantillons dispersés à travers la zone d'étude (Fig. 94).



**Fig.N°94 :** Carte d'inventaire des échantillons de sol

Au mois de novembre 2010, les analyses chimiques ont portées sur les éléments chimiques suivants : Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Cd.

Tous ces éléments, ont été dosés au niveau du Laboratoire Chimie Générale et Prévention des Risques et Nuisances Technologiques, de l'Université de la Méditerranée, Faculté de Pharmacie, Aix Marseille II, France.

Les échantillons ont été prélevés par un tube d'échantillonnage pour sol de faible profondeur de 0 à 30 cm, cette méthode consiste à prélever un échantillon en enfonçant un tube dans le sol en partant de la surface. Une fois enfoncé au maximum, le tube est ressorti et l'échantillon de sol est récupéré. La préparation des échantillons pour l'analyse chimique consiste à passer par les étapes suivantes :

- Le quartage : homogénéisation des prélèvements et sélection d'un échantillon Représentatif.
  - Le séchage : il est réalisé à 180°C pendant 1 heure.
  - Le tamisage : la fraction conservée pour l'analyse est celle inférieur à 2 mm (NF X31-101, 1992).
  - Le broyage : réduction des échantillons en poudre fine inférieur à 63 µm qui présentent la meilleure capacité d'adsorption des ETM (Forstner et Salomon, 1980).
- Ensuite tous les échantillons ont été conditionnés dans des flacons en verre, conservés à des températures inférieures à 4°C, à l'abri de la lumière, jusqu'à analyse.

#### **VI.8.5.1. Préparation des échantillons, méthode de dosage**

Les échantillons sont mis en solution acide (0,5 g de sédiment dans un mélange de 7,5 ml d'acide nitrique concentré et 2,5 ml d'acide chlorhydrique concentré) en cellules fermées et chauffées dans un four à micro-ondes à 180 °C pendant une heure. Après refroidissement le résidu est complété à 100 ml à l'aide d'eau distillée.

Cette technique permet la mise en solution de la majorité des éléments présents dans l'échantillon, non liés aux silicates.

Le dosage des éléments est ensuite réalisé par spectrométrie de masse à plasma (ICP/MS pour Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry) sur le résidu liquide (Annexe 02).

La quantification se fait par étalonnage externe pour les éléments : Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, et Pb. Les mesures sont faites en trois répliques. L'erreur sur la mesure est inférieure à 5%.

La limite de quantification est de 2 mg/kg pour le fer et de 0,1 mg/kg pour tous les autres éléments. Les concentrations sont exprimées en mg/kg.

#### **VI.8.6. Résultats et discussion**

Les résultats d'analyses chimiques du sol de la région de Berka zerga en éléments traces, sont représentés sous forme de graphiques en histogramme et des cartes de distribution spatiale en courbes d'iso-concentration tracées par le logiciel Surfer (Golden Software Inc., 1999).

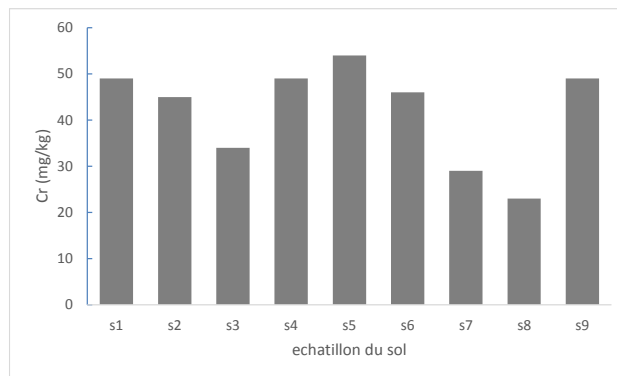
### VI.8.6.1. Le chrome (Cr)

La concentration moyenne du chrome dans la croûte terrestre serait comprise entre 100 et 200 mg/kg selon les auteurs (Baize, 1997). Mais cette concentration varie grandement selon le type de roche. Les roches magmatiques ultrabasiques (dunites, serpentinites, péridotites) sont connues pour être extrêmement riches en chrome (de l'ordre de 1500 à 3000 mg/kg), dans le sol, la teneur limite est de 150 mg/kg.

Dans le cas des roches sédimentaires, la teneur en chrome sera beaucoup tributaire de la teneur en fer et, éventuellement, de la présence de minéraux détritiques riches en chrome (augite, serpentine).

Le chrome se trouve dans les sols et les eaux sous deux formes : Cr (III) et Cr (V). Le chrome trivalent serait sans danger et relativement immobile tandis que Cr (V) serait mobile et toxique pour les plantes et les animaux. Dans le milieu naturel, seuls les oxydes de manganèse seraient capables d'oxyder.

D'ailleurs les concentrations du chrome dans la zone d'étude semblent normales et n'atteignent jamais les seuils (Fig.95), la concentration maximale est enregistrée au niveau de l'échantillon S5, avec 54 mg/kg et la concentration minimale est de 23 mg/kg pour l'échantillon S8, selon la carte de distribution (Fig.96), les valeurs les plus élevées sont caractérisées au niveau de la décharge dans les parties Nord et Nord-Est de la région.



**Fig. 95 : Teneurs en Cr**

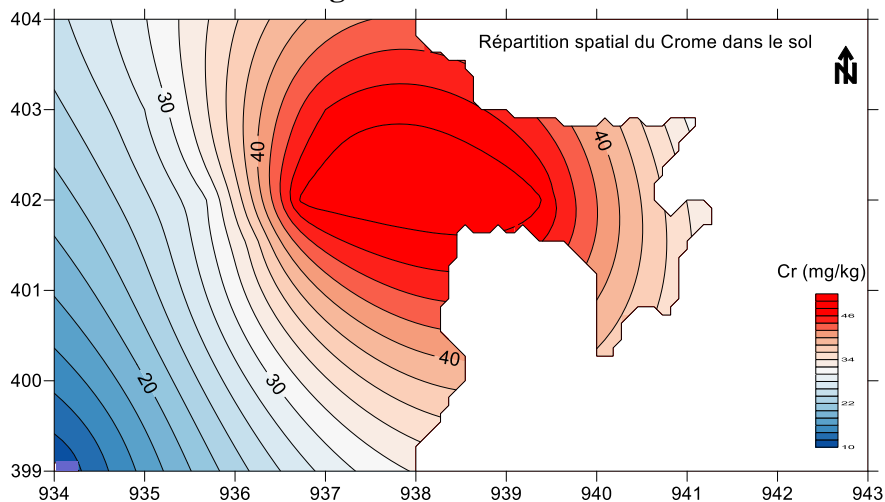


Fig.N°96 - Carte de distribution de Cr (en mg/kg)

**VI.8.6.2. Le manganèse (Mn)**

Le manganèse n'est pas vraiment un élément trace mais le moins abondant des douze éléments majeurs de la croûte terrestre (0,10 % ou 1 000 mg/kg). Les minerais les plus connus sont la pyrolusite, la rhodocrosite, la braunite. Dans les minéraux primaires, Mn est souvent en substitution du fer ou du magnésium dans les silicates ferro-magnésiens (biotites, chlorites, pyroxènes) ou dans les oxydes. Mn peut s'être accumulée dans diverses roches sédimentaires,

Notamment les calcaires oolithiques, et dans les nodules polymétalliques du fond des océans.

Il est également abondant dans les filons hydrothermaux.

Au cours des processus d'altération pédologique des roches, le  $Mn^{2+}$  libéré (soluble et échangeable) s'oxyde et précipite rapidement sous forme de divers oxydes et hydroxydes ou de carbonates (minéraux secondaires). Les différentes formes d'oxydation du manganèse

( $Mn^{3+}$  et  $Mn^{4+}$ ) sont à l'origine de l'existence d'un grand nombre d'oxydes et hydroxydes formant une série continue de composés stables. Les oxydes de Mn sont susceptibles de concentrer aussi des quantités importantes de cobalt, de nickel et de baryum. Grâce à leurs petites dimensions et leur surface spécifique très grande, les oxy-hydroxydes de manganèse

Ont une grande réactivité chimique dans les sols (Baize D., 1997).

Dans notre zone d'étude, les teneurs en Mn dans le sol sont aux normes, la concentration maximale est enregistrée dans l'échantillon S5, avec 830 mg/kg (Fig.97) et la concentration minimale avec 29 mg/kg pour l'échantillon S3. La partie Nord -Est en contact avec le lac Fetzara, présente les plus importantes concentrations.

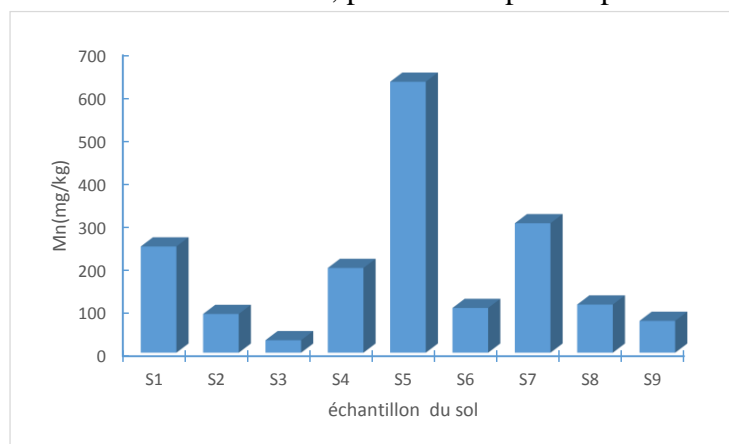


Fig.N°97 : Teneurs en Mn

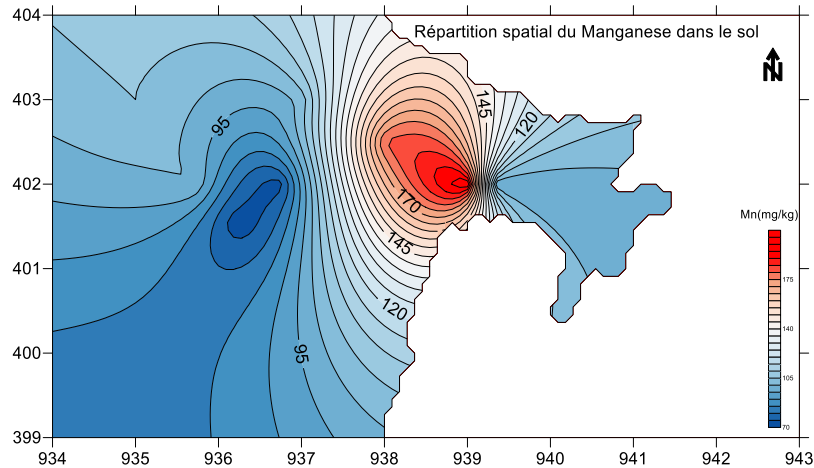


Fig.N°98 - Carte de distribution de Mn (en mg/kg)

### VI.8.6.3. Le fer (Fe)

C'est l'un des métaux les plus abondants (41 000 ppm dans la croûte terrestre) et certainement l'un des plus importants car il est très largement utilisé par rapport à n'importe quel autre métal. Quand il est pur, ce métal présente un aspect blanc brillant, doux et est facile à travailler. Cependant, il réagit et constitue facilement un revêtement d'oxydes hydratés en surface au contact de l'humidité de l'air. Cette partie est incohérente et se détache facilement en plaques révélant des surfaces neuves pouvant être attaquées.

Le fer est soluble dans les acides dilués, où Fe(II) est produit en solution. Des acides plus oxydants produisent des solutions de Fe(III) et les agents acides fortement oxydants (par exemple le dichromate ou bien l'acide nitrique concentré) produisent une forme passive du métal, probablement comme résultat de la formation d'un film de surface d'oxyde cohérent.

Le fer est la base de nombreux types d'acier, leurs propriétés étant obtenues par alliage du fer au carbone, nickel, chrome et autres éléments en proportions variables. On obtient ainsi des matériaux aux propriétés physiques et mécaniques extrêmement variées.

Le fer est également un élément essentiel pour tout être humain, le corps humain contenant en moyenne 4 g de cet élément. La majorité du fer dans le corps se trouve dans l'hémoglobine, le pigment respiratoire à la base du mécanisme de transportation de l'oxygène par les globules rouges.

Ses concentrations dans la zone d'étude semblent acceptables, les teneurs maximales sont de 29480 mg/kg mesurée pour l'échantillon S4 et un minimum 9928 mg/kg pour l'échantillon S8

(Fig.99). Les concentrations importantes, se concentrent dans la décharge (Fig.100).



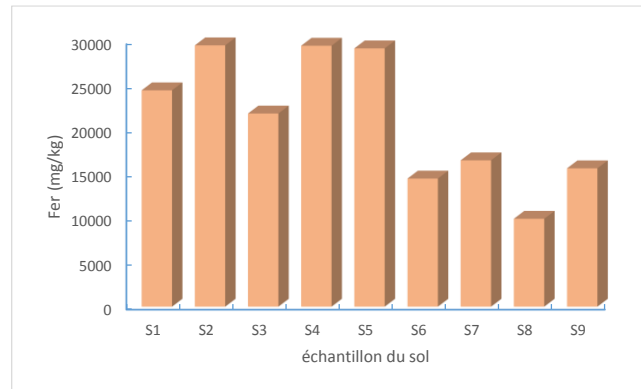


Fig.N°99 : Teneurs en Fe

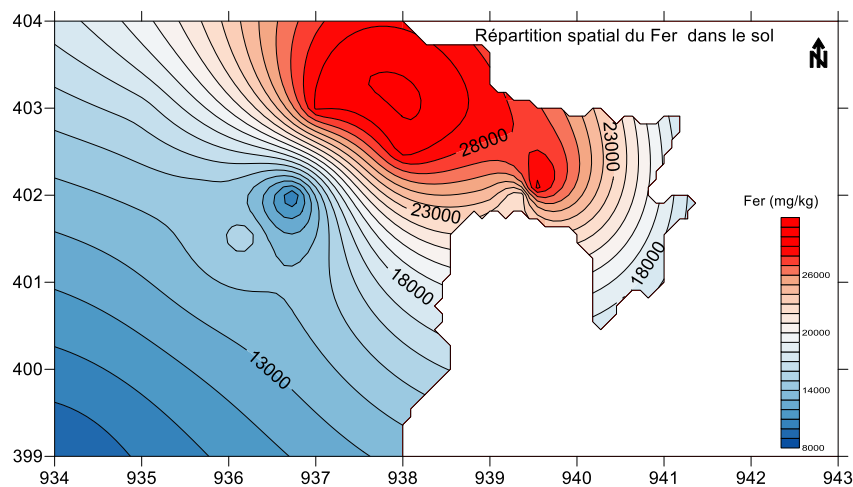


Fig.N°100 - Carte de distribution de Fe (en mg/kg)

#### VI.8.6.4. Le cobalt (Co)

Le cobalt est présent à forte concentration de 100 à 200 mg/kg, dans certaines roches magmatiques basiques ou ultrabasiques (gabbros, péridotites) mais sa teneur serait de seulement 1 à 15 mg/kg dans les roches acides et de 0,1 à 20 dans les roches sédimentaires

(Juste .c ,1995).

L'altération des minéraux, libère du  $Co^{2+}$  et du  $Co^{3+}$  qui sont assez mobiles en milieu oxydant et acide. Cependant le cobalt est fortement adsorbé sur les oxydes de fer et de manganèse ainsi que sur les argiles et les matières organiques. Suite à ces phénomènes d'adsorption, cet élément ne migrerait pas sous forme soluble. En revanche, les chélates organiques de cobalt seraient très mobiles dans les sols et le Co ainsi lié facilement disponible pour les plantes (Juste .c ,1995).

Les apports anthropogènes résultent d'activités diverses (colorations du verre et de la porcelaine,...) (Baize , 1997).

Les concentrations de Co dans la région sont normales, la teneur maximale est de 6.7 mg/kg pour l'échantillon S3 (Fig.101) et 1.2mg/kg comme teneur minimale pour

l'échantillon S6. Les concentrations les plus élevées se caractérisent dans la partie Sud-Ouest de la région (Fig. 102).

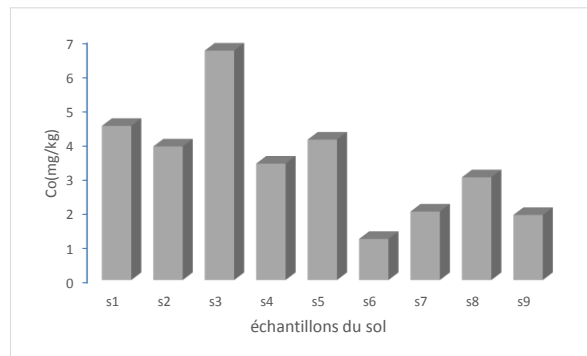


Fig. N° 101 : Teneurs en Co

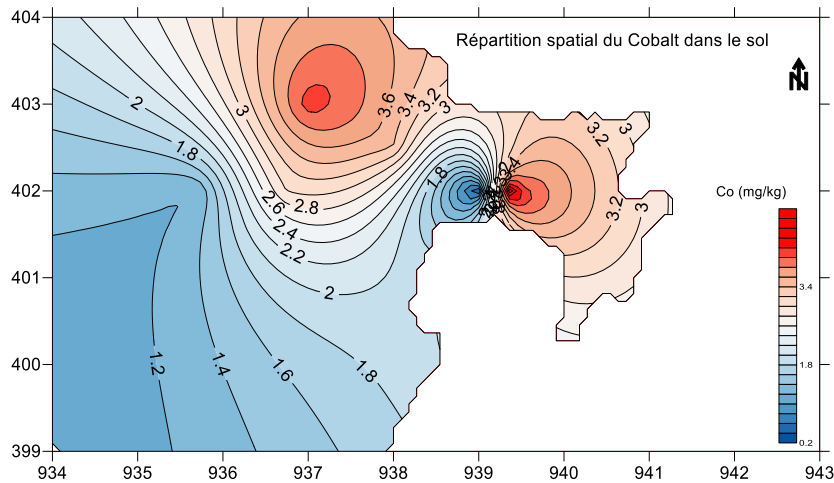


Fig.N°102-Carte de distribution de Co (en mg/kg)

#### VI.8.6.5. Le Nickel (Ni)

D'après Juste .C, (1995), la concentration en nickel des roches sédimentaires serait comprise entre 20 et 40 mg/kg ; elle dépasserait 100 mg/kg dans les roches éruptives mais serait très faible (< 10 mg/kg) dans les roches granitiques. Ni est présent à fortes concentrations dans les roches-mères ferro-magnésiennes où il se substitue partiellement au fer ou au magnésium. Il est particulièrement abondant dans les minéraux primaires silicatés des roches magmatiques basiques et ultrabasiqes (péridots, pyroxènes) et dans les minéraux secondaires de type serpentine. La teneur limite à respecter est de 50 mg/kg (Baize, 1997). Les concentrations en Ni sont relativement moyennes, avec des teneurs un peu élevées enregistrées pour l'échantillon S1 (19 mg/kg) et caractérise la zone Nord et le Sud de la carte (Fig.104 ). La teneur minimale (8 mg/kg pour S6) se situe dans la partie Nord et l'Est de la région.

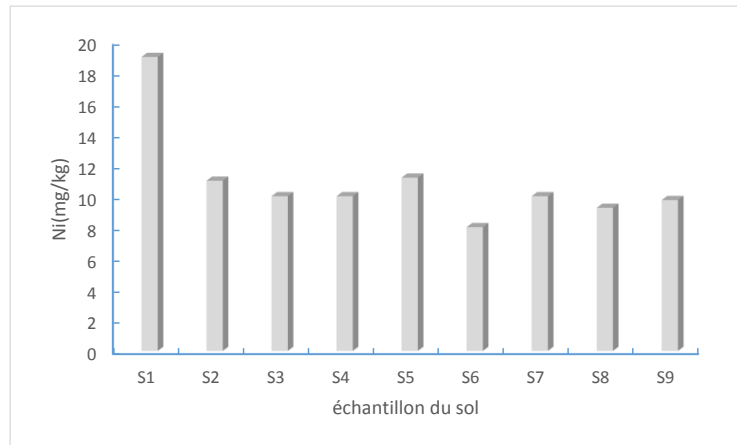


Fig.N°103 : Teneurs en Ni

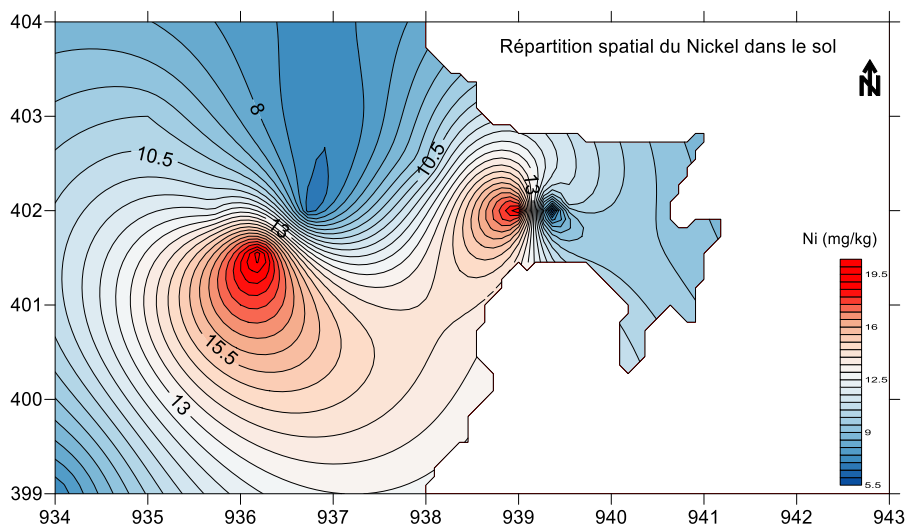


Fig.N°104 : Carte de distribution de Ni (en mg/kg)

#### VI.8.6.6. Le cuivre (Cu)

La composition moyenne de la croûte terrestre en cuivre serait comprise entre 45 et 70 mg/kg selon les auteurs (Baize D., 1997).

La teneur limite en cuivre dans les sols est de 100 mg/kg. Dans le sol le cuivre est principalement lié à la matière organique ainsi qu'aux oxydes de Mn et de Fe. Mais le cuivre peut-être aussi emprisonné dans les feuillets des argiles. On peut trouver aussi du cuivre sous forme lié d'hydroxyde, de carbonate ou de phosphate.

La concentration de cuivre dans la solution du sol est indépendante du pH et du complexant disponible. En général, la part du cuivre échangeable augmente avec la diminution du pH du sol.

La carence en cuivre est observée sur les sols marécageux fraîchement cultivés, suite à sa fixation. Les teneurs les plus élevées (> 80 mg/kg) seraient observées dans les roches magmatiques basiques riches en minéraux ferro-magnésiens (péridots, micas noirs, pyroxènes). Les roches granitiques contiennent en général beaucoup moins de cuivre. Mais certaines d'entre elles ont pu subir des minéralisations additionnelles

localisées d'où des teneurs parfois très élevées. Parmi les roches sédimentaires, argiles et schistes présentent des concentrations plus fortes que les roches détritiques comme les grès ou les sables (Coïc et Coppenet, 1989).

Les apports anthropogènes résultent de plusieurs groupes d'activités :

- sources agricoles : traitements fongicides sous forme de sulfate ;
- sources industrielles : dégagé de l'industrie de transformation de métaux,...

Les concentrations de Cu dans le sol de la région sont complètement normales, elles ne dépassent guère les 16 mg/kg pour la teneur la plus élevée au point S4 avec 14.64 mg/kg et la plus faible au point S9 avec 4 (mg/kg) (Fig.105). Il semble que la partie nord –est de la région montre une surabondance de cet élément a cause des déchets enfouis (Fig.106).

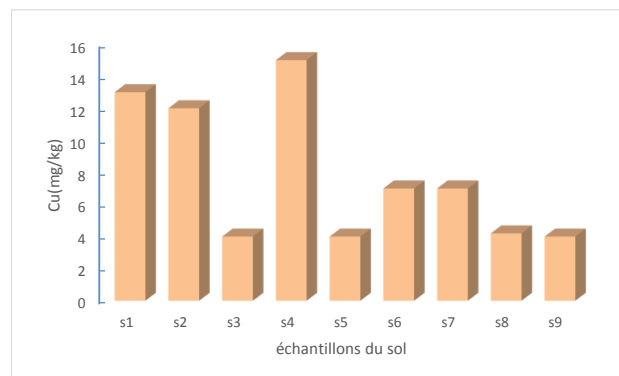


Fig.N°10 : Teneurs en Cuivre en mg/kg

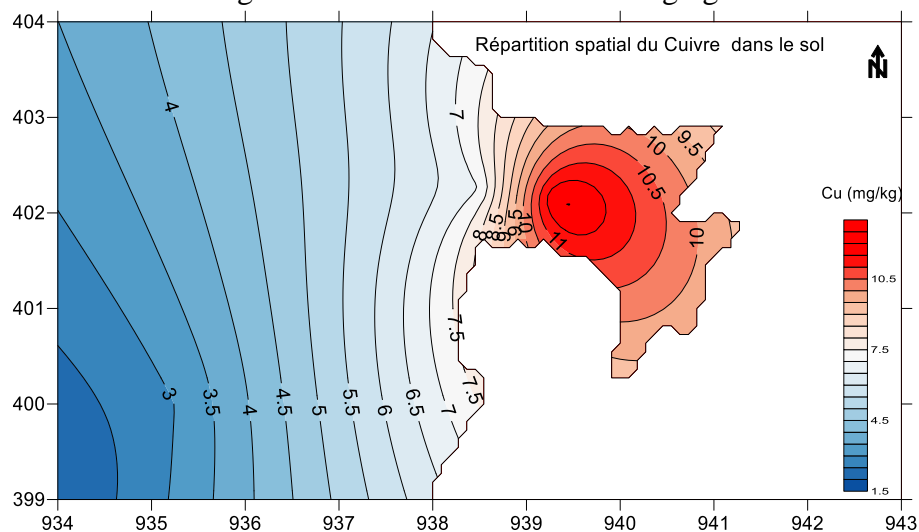


Fig.N°106-Carte de distribution du Cuivre.

#### VI.8.6.7. Le zinc (Zn)

La teneur moyenne en zinc de la croûte terrestre serait comprise entre 70 et 132 mg/kg selon les auteurs. Ses concentrations dans les roches magmatiques seraient de l'ordre de 40 à 120 mg/kg et plus élevées dans les sédiments argileux et schistes (80 à 120 mg/kg).

Le zinc est présent le plus souvent sous forme de sulfure (blende) dans des filons hydrothermaux et des gîtes stratiformes imprégnant des roches sédimentaires où il se

trouve associé au plomb, au fer et au cuivre (association blende, pyrite, galène, chalcopryrite).

Les apports anthropogènes résultent de trois groupes d'activités :

- les sources minières et industrielles : traitement du minerai, raffinage, galvanisation du fer, gouttières et toitures, fabrication de piles électriques, pigments, matières plastiques et caoutchouc, etc. ;
- les épandages agricoles : le zinc est ajouté volontairement à l'alimentation des animaux. L'utilisation des eaux de gouttières en serait grandement responsable.
- enfin de nombreuses activités urbaines et le trafic routier libèrent du zinc dans l'environnement : toitures et gouttières, usure des pneumatiques, poussières des incinérations d'ordures, etc. Dans le sol la teneur limite à respecter de zinc est 300 mg/kg (Baize D., 1997).

Dans tous les échantillons, les concentrations sont inférieures a cette dernière, le maximum a été enregistré à l'échantillon S6 (6 mg/kg) et le minimum (1.6 mg/kg) .les concentration les plus forte se manifeste au niveau de la décharge et elles diminuent en s'éloignant Directement le lac Fetzara à l'Ouest (**Fig. 107 et 108**)

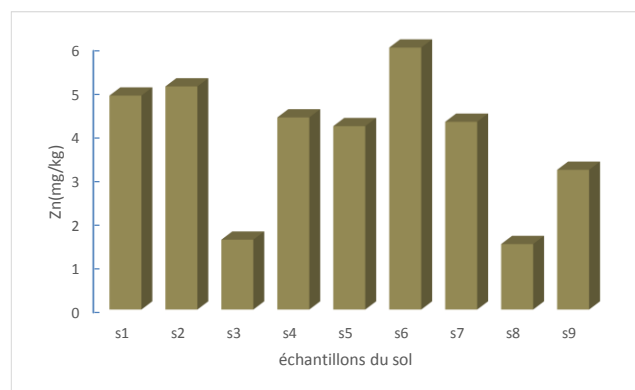


Fig.N°107 : Teneurs en zinc

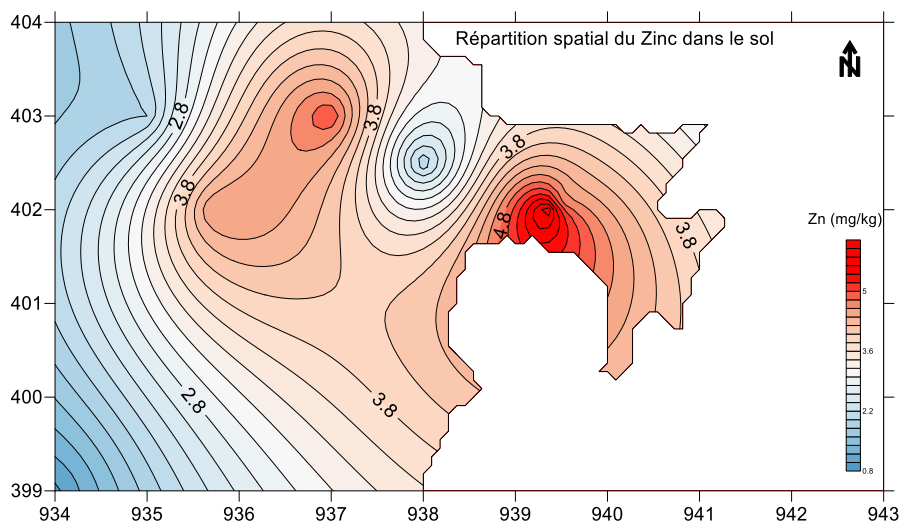


Fig.N°108 : Carte de distribution de Zn (en mg/kg)

### VI.8.6.8 Le cadmium (Cd)

Le cadmium est distribué largement, quoique à faible concentration, moins de 1 mg/kg, dans l'ensemble de l'écorce terrestre, où il est souvent associé à des gisements de Zn, Pb et Cu.

Cet ETM est le plus redouté car très toxique. Considéré comme assez mobile et assez facilement biodisponible, il risquerait soit de passer dans la chaîne alimentaire par l'intermédiaire des végétaux soit de migrer en profondeur pour aller contaminer les nappes phréatiques.

Les apports anthropiques sont souvent égaux voire très supérieurs au fond pédogéochimique initial.

Le cadmium serait présent dans toutes les roches mais plus abondant dans les roches sédimentaires que dans les roches magmatiques, et plus abondant dans les sédiments riches en carbone, sulfures et phosphates.

Les apports anthropogènes résultent de trois groupes d'activités :

a) les épandages et amendements agricoles : le cadmium peut être assez abondant dans les engrais phosphatés (teneur variable selon l'origine géographique des phosphates). Il en est apporté aussi par épandage de déchets d'élevage, lors du chaulage, etc. ;

b) les sources industrielles : le cadmium est un sous-produit du raffinage du zinc, il peut être libéré dans l'atmosphère lors de la métallurgie du fer et de l'acier, lors de l'affinage du plomb, etc. ;

c) enfin de nombreuses activités urbaines et le trafic routier libèrent du cadmium dans l'environnement : incinération des déchets, ...

En ce qui concerne les sols, la teneur limite à respecter est de 2 mg/kg.

Dans la zone d'étude, les concentrations de Cd ne dépassent pas les normes et présentent des teneurs inférieures à 1 mg/kg le maximum est enregistré au point S3 avec une valeur de 0.5 (mg/kg) pour le minimum est au niveau de l'échantillon S8 et S9 avec une valeur de 0.05 (mg/kg). Dans l'ensemble les valeurs les plus élevées observées au centre de la région ou les deux oueds se rencontrent. (Fig.109).

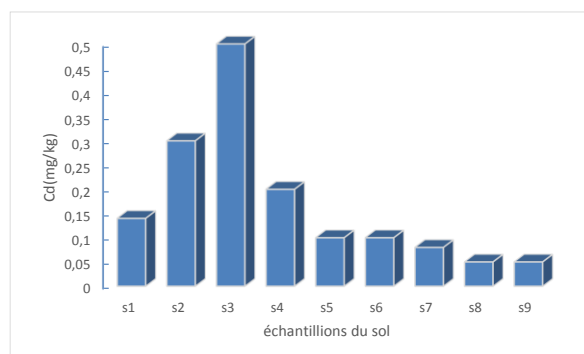


Fig.N°109 : Teneurs en Cadmium

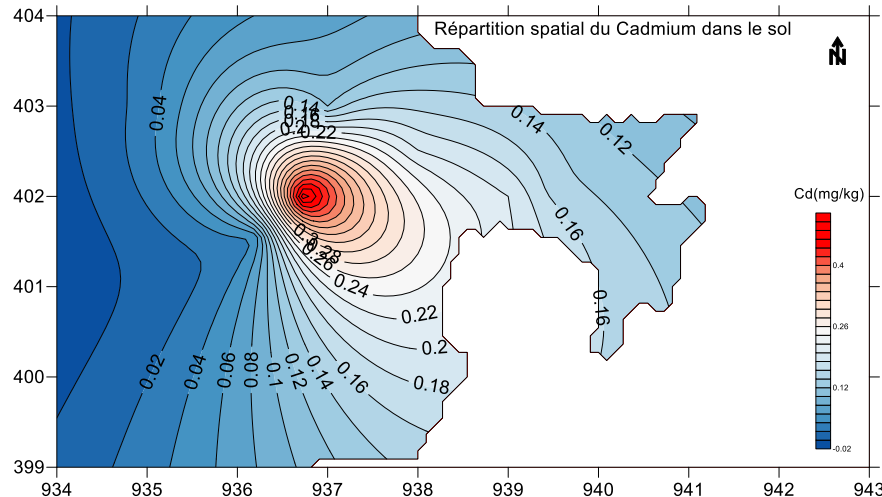


Fig.N°110 : Carte de distribution de Cadmium (en mg/kg)

### VI.8.6.9 Le plomb (Pb)

D'après Juste.c (1995), le plomb serait le micropolluant métallique le moins mobile dans le sol. Ainsi, dans la gamme de pH allant de 5 à 9, et à concentration totale molaire identique, Pb serait 100 fois moins mobile que Cd. La grande affinité de la matière organique Vis-à-vis du plomb expliquerait l'accumulation préférentielle de ce métal dans l'horizon de surface des sols. Le plomb serait également l'un des métaux les moins facilement transférés dans les parties aériennes des plantes.

La concentration moyenne en plomb de la croûte terrestre serait de l'ordre de 13 à 16 mg/kg. Pour les différents types de roches : gabbro 1,9 mg/kg, andésite 8,3 mg/kg, granites 22,7 mg/kg, schistes 23 mg/kg, grès 10 mg/kg. Les schistes noirs, riches en pyrites et en matières organiques, seraient riches en plomb (30 mg/kg).

D'après Juste.C (1995), de nombreux auteurs s'accorderaient pour affirmer que les sols non contaminés contiendraient de 10 à 30 mg/kg (moyenne 15), tandis que les sols situés loin des centres urbains et industriels mais affectés par des contaminations diffuses présenteraient des concentrations comprises entre 30 et 100 mg/kg. Des concentrations supérieures à 110 mg/kg de plomb traduiraient l'existence d'une source polluante à proximité.

Les apports anthropogènes résultent de cinq groupes d'activités.

- les sources principales sont liées à l'utilisation de composés organométalliques comme antidétonants dans les moteurs à explosion. Le métal est rejeté par les gaz d'échappement sous la forme d'aérosols ou de poussières associant Pb, Br et Cl. Une Partie de ces composés se dépose sur les chaussées ou à proximité (moins de 50 m) et le reste est entraîné dans les couches supérieures de l'atmosphère. On estime que plus de 95 % du plomb susceptible de contaminer l'environnement par retombées atmosphériques aurait pour origine le trafic automobile.
- les sources industrielles : le plomb peut être libéré dans leur environnement immédiat par des usines traitant le minerai ou réalisant la récupération des batteries ou encore pratiquant l'affinage du plomb ;
- les déblais de mines et les poussières de crassiers ;

- les sources urbaines : boues de stations d'épuration ;
- certains traitements pesticides à base...

Les concentrations en Pb dans la zone d'étude marquent aussi une affinité de pollution,

On rencontre des teneurs supérieures à 20 mg/kg au niveau des échantillons S1, S2, S4, S5 et S6, le premier qui se trouve à la sortie de la décharge, avec la teneur maximale enregistrée

De 89 mg/kg ne laisse aucun doute sur l'implication des lixiviats dont l'impact est assez significatif sur la dégradation de l'environnement et la qualité des eaux souterraines de la région. (Fig. 112).

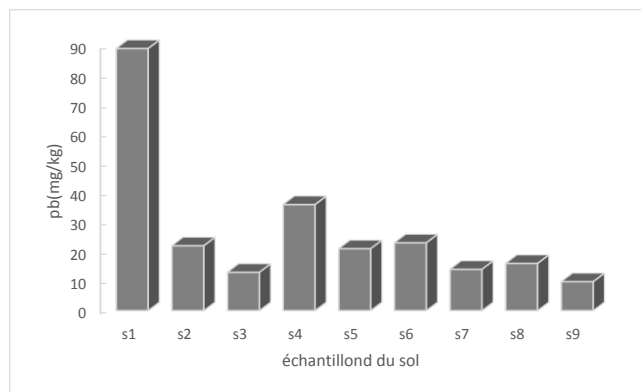


Fig.N°111 : Teneurs en Plomb

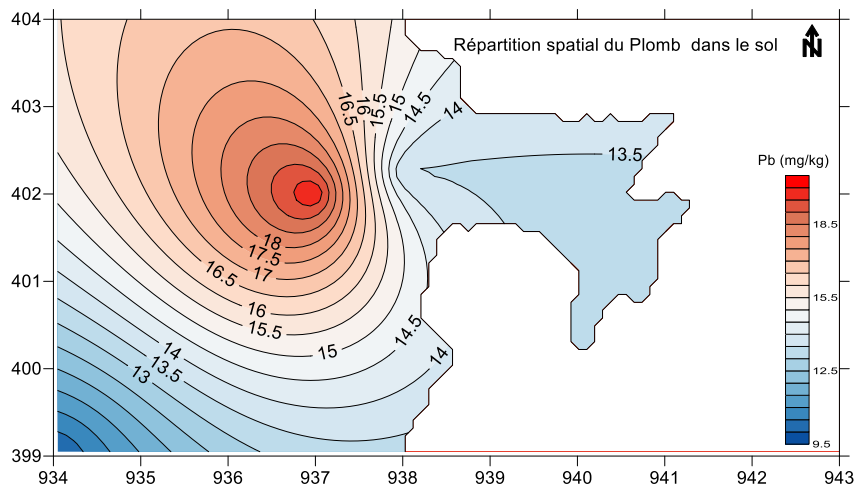


Fig.N°112 : Carte de distribution de Plomb (en mg/kg)



## **VI.9. EVALUATION DETAILLEE DES RISQUES SUR LA SANTE**

### **VI.9.1. Introduction :**

La notion de risque fait appel à celle de nuisance. Une nuisance est tout ce qui fait du tort, qui agresse qui perturbe. C'est un produit ou un phénomène susceptible d'agresser l'homme et la nature en général (la flore et la faune), 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. Les résultats de la 2<sup>ème</sup> partie de notre mémoire montrent un risque de pollution par les métaux lourds

L'étude de risque a pour but :

- d'identifier les différents types de risques qui peuvent découler de la pollution.
- Quantifier ces risques.
- Définir les objectifs de réhabilitation pour mettre en conformité le site avec la réglementation sur l'environnement
- Déterminer les actions qui vont réduire le risque pour le rendre acceptable.

### **VI.9.2. Cuivre :**

Le cuivre est présent dans la nature sous forme de minerais de cuivre natif, de minerais oxydé ou sulfuré.

Il faut remarquer que les fortes teneurs en Cu sont toxiques pour les poissons, par contre la Ve aquatique peut être perturbée par des doses plus faibles, mais les conditions de toxicité varient suivant les espèces et la composition de l'eau (oxygène dissous, anhydride carbonique, température, calcium, magnésium.....etc.).

- Impact du cuivre sur la santé et l'environnement :
  - Entraîne une cirrhose du foie ainsi qu'un cancer du foie.
  - Responsable de la maladie d'Alzheimer.
  - Menace pour la production des terres agricoles.
  - Influence de façon négative l'activité des micro-organismes et des vers de terre.
  - Un sérieux ralentissement de la décomposition de la matière organique.

### **VI.9.3 Le plomb**

C'est un métal existant à l'état naturel qui est présent partout dans l'environnement (dans les Roches, le sol, l'eau et l'air). Les concentrations de plomb atmosphérique ont fortement augmenté lors de la révolution industrielle, surtout au début des années Vingt avec l'introduction des additifs à base de plomb dans l'essence des voitures. Actuellement cependant, la concentration de plomb dans l'air a diminué de manière spectaculaire en Belgique, comme dans tous les pays industrialisés, suite aux mesures réglementaires concernant notamment l'essence et les rejets dans l'environnement.

Les aliments peuvent également constituer une source d'apport en plomb. Ils contiennent cet élément provenant du sol, de l'eau utilisée dans leur transformation et de l'utilisation de boîtes de conserve à brasures de plomb pour leur conservation. La vaisselle en céramique, en cristal et en étain, ainsi que le khôl, peuvent participer de manière importante à l'absorption quotidienne.

L'exposition professionnelle au plomb se rencontre dans les usines de métallurgie du plomb et du zinc, dans la fabrication des accumulateurs et batteries, etc. Les nouvelles technologies (offset) ont quasi supprimé la présence de plomb dans les imprimeries, autrefois très fortement contaminées.

- **Effets sur la santé :**

- \* L'exposition aiguë provoque des coliques et des encéphalites accompagnées parfois d'ataxie, de convulsions, de coma et même de décès.

- \* L'exposition chronique peut entraîner chez l'enfant une déficience de son développement intellectuel, des problèmes de comportement, une altération de la fonction auditive et une perturbation de la croissance. Les symptômes précoces peuvent comporter une fatigue persistante, de l'irritabilité, une perte d'appétit, de l'anémie, des maux d'estomac, un champ d'attention réduit, de l'insomnie, de la constipation et des maux de tête. Les effets à long terme chez les adultes comprennent une hausse de la pression artérielle, de l'anémie, des problèmes rénaux et éventuellement une déficience spermatique. On sait que, pendant la grossesse, le plomb passe de la mère au fœtus et cela d'autant plus que la contamination a lieu pendant le troisième trimestre. Par le passé, on remarquait une augmentation des avortements spontanés et des accouchements d'enfants mort-nés chez les travailleuses de l'industrie du plomb exposées à des niveaux élevés de ce métal. Les jeunes enfants

sont un groupe à risque élevé, notamment à cause de l'ingestion, déjà évoquée, de Vieilles peintures. En outre, ils absorbent plus de plomb par rapport à leur poids corporel que les adultes ; ils se développent à un rythme rapide et sont donc d'autant plus sensibles aux effets nocifs du plomb. Les enfants absorbent par ailleurs une proportion de plomb supérieure en provenance des sources alimentaires (absorption pouvant atteindre 50% comparativement à environ 10% chez les adultes).

- **Impact sur la santé**

Le nickel est un composé qui est présent dans l'environnement qu'à des concentrations très faibles. L'homme utilise le nickel pour différentes applications, la plus commune est l'utilisation du nickel comme composants de l'acier ou d'autres produits métalliques. On peut le trouver dans des produits à base de métaux comme les bijoux. Les aliments contiennent naturellement de petites quantités de nickel. Le chocolat et les graisses sont connus pour en contenir des quantités importantes. Notre consommation de nickel augmente lorsqu'on mange de grandes quantités de légumes provenant de sols contaminés. En effet, on sait que les plantes assimilent le nickel. Les fumeurs ont des poumons qui voient passer plus de nickel que les non-fumeurs. Enfin, on peut trouver le nickel dans les détergents .

L'homme peut être exposé au nickel en respirant, en buvant de l'eau, en consommant des aliments ou en fumant des cigarettes. Le contact de la peau avec des sols ou de l'eau contaminés par du nickel peut être une forme d'exposition au nickel. En petites quantités, le nickel est essentiel mais, quand l'absorption est trop importante il peut présenter un risque pour la santé. .

L'absorption de quantités trop importantes de Nickel peut avoir les conséquences suivantes:

- Plus de risque de développer un cancer des poumons, du larynx et de la prostate
- Nausées, vomissements et vertige après une exposition au gaz
- Embolies pulmonaires
- Echec respiratoire
- Echec de naissance
- Asthme et bronchite chronique
- Réactions allergiques telles que des éruptions cutanées (principalement avec les

bijoux)

- Problèmes cardiaques

- ***Impact sur l'environnement***

Le nickel est relâché dans l'air par les centrales et les incinérateurs de déchets. Ensuite, il se dépose sur les sols ou retombe après réaction avec l'eau de pluie. Il faut en général un certain temps pour éliminer le nickel de l'air. Le nickel peut aussi finir dans les eaux de surfaces quand il est présent dans les eaux usées. La part la plus importante du nickel relâché dans l'environnement est adsorbée par les sédiments et les particules du sol et devient par conséquent immobile. Cependant, dans les sols acides, le nickel devient plus mobile et il peut rejoindre les eaux souterraines.

Il n'y a pas beaucoup d'informations disponibles sur les effets du nickel sur les organismes autres qu'humains. On sait que de hautes concentrations en nickel dans des sols sablonneux peuvent endommager les plantes et, de hautes concentrations en nickel dans les eaux de surface peuvent diminuer le taux de croissance des algues. Les micro-organismes peuvent aussi souffrir d'une diminution de croissance due à la présence de nickel mais, en général, après un certain temps, il développe une résistance Au nickel pour les animaux, le nickel est élément essentiel en petite quantité, mais il peut être dangereux lorsqu'on dépasse les quantités maximales tolérées. Il peut provoquer alors différents types de cancer à différents endroits du corps, et ce principalement chez les animaux Vivant près des raffineries.

#### **V.9\_4.Evaluation détaillée des risques sur la santé humaine :**

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

- Définition des concentrations d'exposition
- Estimation des doses journalières d'exposition (DJE).
- Etude des effets toxiques
- Estimation du risque.

##### **V.9\_4.1. Définition des concentrations d'exposition :**

La première phase de l'analyse détaillée des risques consiste à l'estimation des concentrations en polluants présents dans l'environnement aux différents points

d'exposition. Dans le cadre d'étude, les concentrations employées pour l'estimation des risques sont les concentrations moyennes .sont données par le tableau.

Tableau N°30 : éléments chimiques dans la zone d'étude.

<b>éléments chimique</b>	<b>Eau s/t (mg/l)</b>	<b>Sol (mg/kg)</b>	<b>Eau de surface (mg/l)</b>
Cuivre	0.95	8.50	1.2
Plomb	0.49	31.63	1.2
Nickel	0.31	11.41	1.01

#### **VI.9\_ 4 .2. Estimation des doses d'exposition :**

Après l'estimation des concentrations du zinc, l'analyse détaillée des risques s'appuie à l'estimation des doses d'exposition des individus au zinc.

##### **A / Dose journalière d'exposition (DJE) :**

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 de mêmes équations adaptées pur chacune des voies d'exposition. Les équations se présentent de la manière suivante :

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

**B/ 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 :

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

**C / Dose journalière acceptable (DJA) :** La dose journalière acceptable présente la quantité de substance chimique qui peut ingérer un homme par jour, au cours de sa Ve, sans aucun risque appréciable pour sa santé.

Liste des paramètres (pour les deux équations précédentes) :

Paramètres	Notation
Concentration dans le milieu d'exposition (mg/kg)	C
Quantité ingérée (Kg)	Q
Facteur d'adsorption	Fsp
Durée d'exposition (années)	DE
Fréquence d'exposition (J/an)	Fe
Poids de l'individu (Kg)	P
Période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (jour)	T
Concentration du composé dans le sol (mg/Kg)	Cs
Surface de peau (cm <sup>2</sup> )	SA
Quantité de sol adhérent à la peau (mg/cm <sup>2</sup> /j)	SL
Facteur climatique (sans dimension)	Z
Poids du corps (Kg)	Bw
Fraction de peau exposé	Fs

### VI.9.5. Estimation du risque :

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

#### A / Estimation du risque non cancérigène :

L'estimation du risque non cancérigène 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) :

$$\text{IR} = \text{DJE}/\text{DJA}$$

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

#### B/ Estimation du risque cancérigène :

Le risque cancérigène est estimé par ERI (Excès de risque individuel) qui est obtenu par multiplication de la dose journalière d'exposition par l'excès de risque unitaire (ERU).

Le ministère de l'environnement fournit la valeur de  $10^{-5}$ , soit une probabilité d'attraper un cancer de 1 sur cent mille comme niveau de risque. « Certainement

acceptable » et la valeur de  $10^{-4}$  comme niveau de risque « certainement inacceptable » en termes de santé publique.

Dans ce travail, nous avons pris en considération ces risques pour les personnes travailleurs sur le site de la décharge et les populations des agglomérations à voisinages. On a trois scénarios :

- 1- Les eaux de surface.
- 2- Le sol.
- 3- Les Eaux souterraines.

Les résultats obtenus par un logiciel américain Risk 04 sur les deux catégories de la société (Adultes et enfants) sont illustrées dans le tableau suivant

Tableau N°31 Scénarios et résultats de l'évaluation des risques.

Scénario	Cibles	Eléments chimique	IR		IR total	Observation
			Ingestion	Contact dermique		
Eau de surface	Adulte	Copper	5.9E-03	2.7E-03	8.7E-03	< 1 acceptable
		Lead	6.1E-02	0.0E+00	6.1E-02	< 1 acceptable
		Nickel	9.3E-03	4.3E-03	1.4E-02	< 1 acceptable
	Enfant	Copper	2.8E-02	4.0E-03	3.2E-02	< 1 acceptable
		Lead	2.8E-01	0.0E+00	2.8E-01	< 1 acceptable
		Nickel	4.3E-02	6.3E-03	4.9E-02	< 1 acceptable
Sol	Adulte	Copper	3.1E-04	3.6E-05	3.5E-04	< 1 acceptable
		Lead	1.2E-02	1.4E-03	1.3E-02	< 1 acceptable
		Nickel	7.8E-04	9.0E-05	8.7E-04	< 1 acceptable
	Enfant	Copper	2.9E-03	1.2E-04	3.1E-03	< 1 acceptable
		Lead	1.1E-01	4.5E-03	1.2E-01	< 1 acceptable
		Nickel	7.3E-03	2.9E-04	7.6E-03	< 1 acceptable
Eau souterraine	Adulte	Copper	7.0E-01	1.6E-03	7.16E-1	< 1 acceptable
		Lead	3.7E+00	0.0E+00	3.7E+00	<b>Non acceptable</b>
		Nickel	4.2E-01	9.8E-04	4.2 E-1	< 1 acceptable
	Enfant	Copper	1.6E+00	2.4E-03	1.60E+00	<b>Non acceptable</b>
		Lead	8.7E+00	0.0E+00	8.7E+00	<b>Non acceptable</b>
		Nickel	9.9E-01	1.4E-03	9.9 E-1	< 1 acceptable



Ce tableau indique un indice de risque acceptable pour les métaux étudié (plomb, cuivre et Nickel) ( $IR < 1$ ) pour le sol et les de surface sauf pour les eaux souterraines on constate que ; pour le plomb l'indice de risque est supérieur à 1 chez les Adultes. C'est pareil chez les enfants en plus du cuivre (Fig.113)

**SUMMARY OF HAZARD QUOTIENTS For Surface Soil**

**CASE 1: Child Resident - RME**

	Ingestion of Soil	Dermal Contact Soil	TOTAL
Copper	2.9E-03	1.2E-04	3.1E-03
Lead	1.1E-01	4.5E-03	1.2E-01
Nickel	7.3E-03	2.9E-04	7.6E-03
<b>TOTAL</b>	<b>1.2E-01</b>	<b>4.9E-03</b>	<b>1.3E-01</b>

**CASE 2: Adult Resident - RME**

	Ingestion of Soil	Dermal Contact Soil	TOTAL
Copper	3.1E-04	3.6E-05	3.5E-04
Lead	1.2E-02	1.4E-03	1.3E-02
Nickel	7.3E-04	3.0E-05	8.7E-04
<b>TOTAL</b>	<b>1.3E-02</b>	<b>1.5E-03</b>	<b>1.5E-02</b>

**SUMMARY OF HAZARD QUOTIENTS For Groundwater**

**CASE 1: Child Resident - RME**

	Ingestion of Groundwater Shower	Dermal Contact Shower	Inhalation During Shower	Ingestion of Root Vegetables	Ingestion AboveGround Vegetables	Dermal Contact Irrig Water	Ingestion of Irrig Water	TOTAL
Copper	1.6E+00	2.4E-03	0.0E+00	3.0E-03	3.4E-03	6.7E-03	9.1E-02	1.7E+00
Lead	8.7E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	4.8E-01	9.2E+00
Nickel	9.9E-01	1.4E-03	0.0E+00	6.3E-03	7.3E-03	4.0E-03	5.5E-02	1.1E+00
<b>TOTAL</b>	<b>1.1E+01</b>	<b>3.8E-03</b>	<b>0.0E+00</b>	<b>9.3E-03</b>	<b>1.1E-02</b>	<b>1.1E-02</b>	<b>6.3E-01</b>	<b>1.2E+01</b>

**CASE 2: Adult Resident - RME**

	Ingestion of Groundwater Shower	Dermal Contact Shower	Inhalation During Shower	Ingestion of Root Vegetables	Ingestion AboveGround Vegetables	Dermal Contact Irrig Water	Ingestion of Irrig Water	TOTAL
Copper	7.0E-01	1.6E-03	0.0E+00	1.2E-03	1.7E-03	3.9E-03	1.5E-02	7.3E-01
Lead	3.7E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	8.0E-02	3.8E+00
Nickel	4.2E-01	9.8E-04	0.0E+00	2.5E-03	3.6E-03	2.3E-03	9.1E-03	4.4E-01
<b>TOTAL</b>	<b>4.9E+00</b>	<b>2.6E-03</b>	<b>0.0E+00</b>	<b>3.6E-03</b>	<b>5.2E-03</b>	<b>6.2E-03</b>	<b>1.0E-01</b>	<b>5.0E+00</b>

Fig.N° 113. Application de Risk 4 Workbench pour le sol.

**SUMMARY OF HAZARD QUOTIENTS For Groundwater**

**CASE 1: Child Resident - RME**

	Ingestion of Groundwater Shower	Dermal Contact Shower	Inhalation During Shower	Ingestion of Root Vegetables	Ingestion AboveGround Vegetables	Dermal Contact Irrig Water	Ingestion of Irrig Water	TOTAL
Copper	1.6E+00	2.4E-03	0.0E+00	3.0E-03	3.4E-03	6.7E-03	9.1E-02	1.7E+00
Lead	8.7E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	4.8E-01	9.2E+00
Nickel	9.9E-01	1.4E-03	0.0E+00	6.3E-03	7.3E-03	4.0E-03	5.5E-02	1.1E+00
<b>TOTAL</b>	<b>1.1E+01</b>	<b>3.8E-03</b>	<b>0.0E+00</b>	<b>9.3E-03</b>	<b>1.1E-02</b>	<b>1.1E-02</b>	<b>6.3E-01</b>	<b>1.2E+01</b>

**CASE 2: Adult Resident - RME**

	Ingestion of Groundwater Shower	Dermal Contact Shower	Inhalation During Shower	Ingestion of Root Vegetables	Ingestion AboveGround Vegetables	Dermal Contact Irrig Water	Ingestion of Irrig Water	TOTAL
Copper	7.0E-01	1.6E-03	0.0E+00	1.2E-03	1.7E-03	3.9E-03	1.5E-02	7.3E-01
Lead	3.7E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	8.0E-02	3.8E+00
Nickel	4.2E-01	9.8E-04	0.0E+00	2.5E-03	3.6E-03	2.3E-03	9.1E-03	4.4E-01
<b>TOTAL</b>	<b>4.9E+00</b>	<b>2.6E-03</b>	<b>0.0E+00</b>	<b>3.6E-03</b>	<b>5.2E-03</b>	<b>6.2E-03</b>	<b>1.0E-01</b>	<b>5.0E+00</b>

**SUMMARY OF HAZARD QUOTIENTS For Surface Water**

**CASE 1: Child Resident - RME**

	Ingestion of Surface W	Dermal Contact with Surface W	TOTAL
Copper	2.8E-02	4.0E-03	3.2E-02
Lead	2.8E-01	0.0E+00	2.8E-01
Nickel	4.3E-02	6.3E-03	4.9E-02
<b>TOTAL</b>	<b>3.6E-01</b>	<b>1.0E-02</b>	<b>3.7E-01</b>

Fig.N° 114. Application de Risk 4 Workbench pour les eaux souterraines

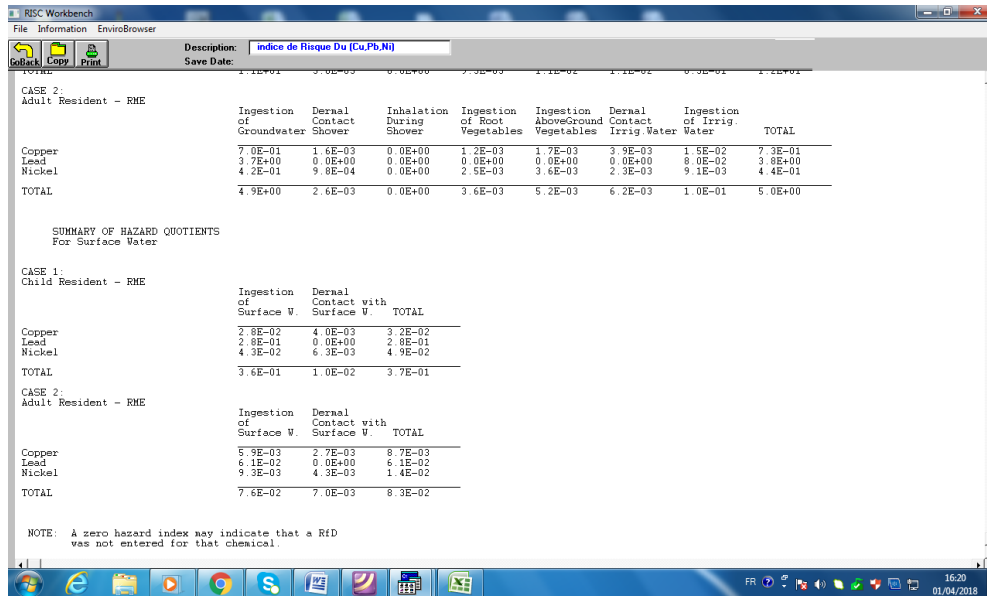


Fig.N°115. Application de Risk 4 Workbench les eaux de surface.

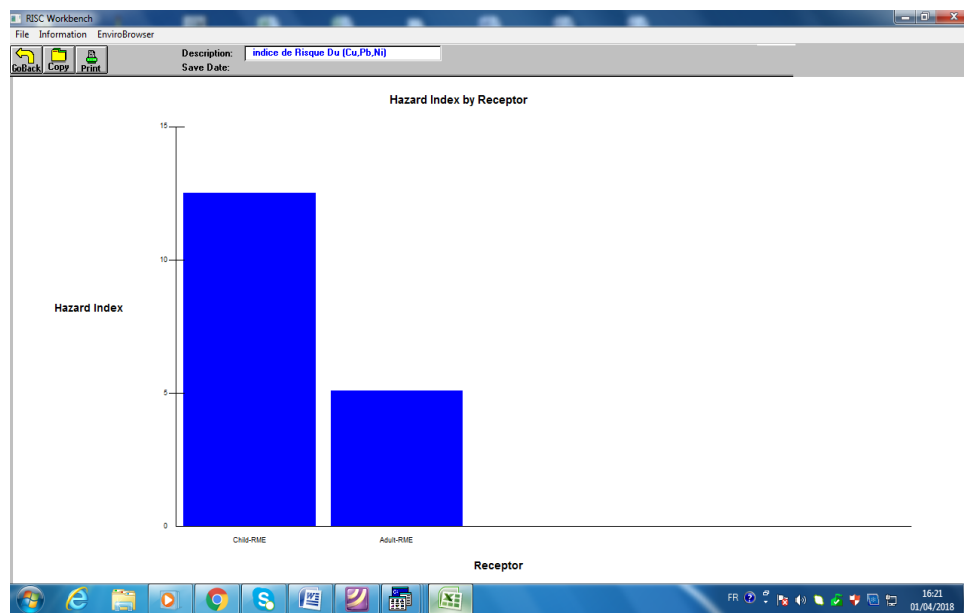


Fig.N°116. Histogramme de l'indice de risque selon les récepteurs

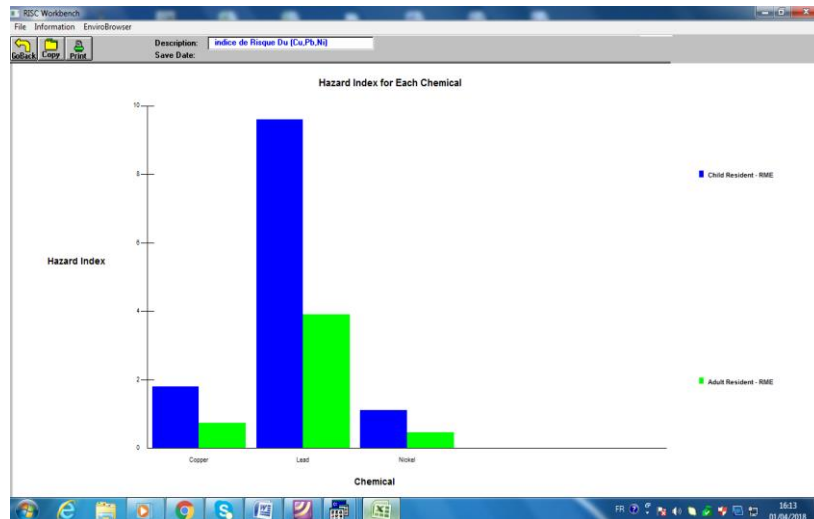


Fig.N°117. Histogramme de l'indice de risque selon L'élément chimique.

### VI.9. 6 .Conclusion :

En conclusion, les calculs effectués montrent que quel que soit les voies de transfert ou les cibles le risque sur la santé reste acceptable à l'exception pour les eaux souterraines ou le risque est non acceptable. Cependant, les travaux en cours notamment en utilisant des teneurs d'autres polluants montrent que la situation est encore alarmante et les répercussions sur le milieu et sur la santé sont plus dramatiques.

### Conclusion générale

Notre objectif dans cette étude est de déterminer l'effet de l'activité anthropique par le biais des lixiviats. Ces percolats renferment une importante charge métallique avec des concentrations élevées en métaux, qui par écoulement entraînent une pollution des eaux souterraines confirmée par les teneurs observées au niveau des 36 puits.

Pour atteindre cet objectif les parties suivantes ont été développées :

La description des formations géologiques à l'affleurement a montré la présence de deux types de formation :

- Les formations métamorphiques présentes essentiellement au niveau du massif de l'Edough et ces environs, constituent ainsi la limite de la nappe ; La décharge repose sur des formations gneissiques fissurées à fortes perméabilités ( $k \approx 10^{-5}$  m/s), induisant une pollution en profondeur des eaux souterraines
- Les formations sédimentaires occupant le reste de la zone d'étude.

Les données climatiques attribuent à la région un climat méditerranéen caractérisé par deux saisons distinctes l'une pluvieuses et humide et l'autre sèche et chaude. La région d'étude reçoit des précipitations annuelles moyennes de l'ordre de 686,292 mm (Les Salines), 687,77 mm (Berrahal), et des températures annuelles moyennes de l'ordre de 17,91°C (Salines). La reconstitution du stock commence au mois de novembre et s'achève au mois d'avril. L'épuisement du stock du sol s'observe au mois d'avril et la nécessité d'irriguer s'impose surtout pour la période allant de juin à octobre où l'on constate un déficit agricole pouvant atteindre 445,92mm (Les Salines), 467,72mm (Berrahal).

Les résultats des analyses chimiques ont donné une eau dure caractérisée par la dominance d'un faciès chimique : chlorure sodique. Et elles ont montré une dégradation qualitative importante des eaux souterraines, particulièrement dans les secteurs situés en aval de la décharge. Dans ces zones polluées, nous avons observé les valeurs suivantes : CE supérieures à 1900  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , et (1.77, 0.5, 0.95, 1.08, 0.2)  $\text{mg.l}^{-1}$  respectivement pour le Manganèse, Plomb, Fer, Cuivre et le Nickel. Ces concentrations dépassent la valeur standard pour l'eau potable.

L'étude de la répartition des différents contaminants dans les eaux des puits a montré

L'existence d'un panache de pollutions organiques et métalliques des puits limitrophes de la décharge et qui a tendance à s'étaler dans le sens de l'écoulement de la nappe. Ce qui peut entraîner une toxicité chez le consommateur par l'utilisation de cette eau.

Malgré ces résultats la population avoisinante continue à consommer cette eau que se soit pour eux même et pour les ovins et les bovins et pour l'irrigation

Les principaux facteurs responsables de la pollution des eaux souterraines ont été identifiés, il s'agit de :

- (1) la faible profondeur de la nappe,
- (2) la perméabilité de la zone non saturée,
- (3) une forte humidité
- (4) l'absence d'un système de drainage des lixiviats.

Au terme de cette recherche, il apparait que des mesures doivent être prises en urgence :

- La fermeture immédiate de la décharge.
- La mise en place d'un réseau de drainage des lixiviats et d'un système de drainage des eaux de pluie à l'extérieur du site pour minimiser la production de ces Percolats. Il faut aussi prévoir des surfaces étanches afin de limiter l'infiltration des eaux polluées.
- S'assurer d'un bon drainage souterrain. Si une couche indurée restreint le mouvement de l'eau à travers la zone racinaire, l'eau avec un SAR (rapport d'adsorption du sodium) supérieure à 6 ou une salinité de 1,5 mmhos/cm ne devrait pas être utilisée
- Ne pas permettre au sol de s'assécher outre mesure car étant donné la salinité, la plante ne peut prélever autant d'eau qu'en situation normale.
- Échantillonner régulièrement le sol afin de suivre l'évolution du sodium. et les ETM.

## Bibliographique

Agence de bassin hydrographique. Constantinois -Seybouse- Mellegue, (2003): actualisation du Canada, Bassin Côtiers Constantinois.

- Aissa, D.E., (1985): Etude des indices ET gisements métallifères du massif de l'Edough (Annaba) Thèse de doctorat <sup>3<sup>eme</sup></sup> cycles. USTHB Alger, 134p.
- Alain, F., Jean François R., (1995): Dictionnaire de géologie, 4e édition ; DUNOD.
- Allen, H.E., Hansen, D.J., (1996): The importance of trace metal speciation to water quality Criteria Water Environment Research, 68, 42-54.
- Andreassen JK, O'Neill RV, Noss R, Slosser NC.,(2001) : Considerations for the development of a terrestrial index of ecological integrity. Ecological Indicators **1**, 21-35.
- Anonyme, (2004) : Etude agro-pédologique du lac Fetzara (B. N. E. D. E. R)
- Boucheham A., Boulleghreif F., (1992): Etude de la minéralisation ferrifère du gisement beleleita (Edough) Mémoire d'ingénieur. Univ, Constantine, 59p.
- Bermon. Ret Perrdo C, (1979): paramètre de la qualité des eaux .ministère de L'environnement Paris p 259
- Bougherira N, Hani A, Djabri L, Toumi F, Chaffai H, Haied N, Nechem D, Sedrati N. (2014), Impact of the urban and industrial waste water on surface and groundwater, in the region of Annaba, (Algeria). Elsevier Ltd.  
DOI: 10.1016/j.egypro. 2014.06.085. Energy Procedia **50**, 692-701.
- Caby R, Hammor D., (1992): Le massif cristallin de l'Edough (Algérie): UN « metamorphic core complex » age Miocene dans les maghrébides. Comptes rendus de l'Académie des sciences. Série 2. Mécanique, physique, chimie, sciences de l'univers, sciences de la terre, 314, série II, p 829-835.
- Cahier de l'Agence Nationale des Ressources Hydriques., n°04, septembre (2000).
- Castany G., (1982): Principes ET méthodes de l'hydrogéologie. Ed. Dunod, Paris, France238p.
- Chaffai H, Djabri L, Lamrous S., (2005) : Réserves hydriques de la Wilaya de Annaba. Inventaire, évaluation et besoins futurs en ressources en eaux, Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, N°4, 31-36.
- Chaffai H, Khelfaoui H, Hani A, Bougherira N, Djabri L., (2016) :Hydrodynamic and

hydrodispersive modeling: impact of activities industrial zone on the waters area of Berrahal (Annaba). Proceedings of the 8th International Congress on Environmental Modelling and Software, Toulouse, France. ISBN: 978-88-9035-745-9, Vol. 5 pdf 1295-1302.

- Chofqi, A., Lhadi, E., Mania, J., Murdy, J., Veron, A., Younsi, A., (2004): Environmental impact of an urban landfill on a coastal aquifer (El Jadida, Morocco). Journal of African Earth Sciences pp 10.
- 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 seyouse – nord – est Algérien. Thèse de Doctorat, université de Franche Comte, pp 197.
- Deliste C E et J.W. ,(1977) : the effects of sulphur on water and aquatic life in canada dans :sulphur and its inorganic derivatives in canadian environment.NRCC,No15015,comité associé sur les critères scientifique concernant l'état de l'environnement ,conseil National de recherche du canada , otawa .
- Derradji F., (2004): Identification quantitative et qualitative des ressources en eau de la région de Annaba- El Tarf (Nord-Est Algérien). Th. Doct. Es-Sciences, Univ. Annaba. 237p.
- Djabri, L, Hani A., Mania J, Mudry J., (2000): Conséquences des pratiques agricoles sur la qualité des eaux du bassin de la Seyouse (Est algérien). Actes du colloque ESRA'2000, Poitiers, S3, pp.39-42.
- Djabri, L., (1996): Mécanismes de la pollution et vulnérabilité des eaux de la Seyouse. Origines géologique industrielle, agricole et urbaine. Th. Doct. Es-Sciences, Univ. Annaba, 261p.
- 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, univ. d'Annaba, 119p.
- Fofou A. ,(2008): Influence de la décharge de Berka Zerga sur la qualité des eaux de la plaine de l'Oued Zied, (Annaba).memoire de magistère, Département de Géologie Université d'Annaba 112 p.
- Gleizes G, Boulton, J. Bossière G, et Collome P., (1988): Données lithologiques et pétrostructurales nouvelles sur le massif cristallophyllien de l'Edough (Est Algérien). C ; R. Acad. Sci. Paris, t 306, série II, p 1001-1008.

- Habes S., (2013) ; caractéristiques chimiques d'un lac appartenant aux écosystèmes humides du Nord- de l'Algérie ; cas du lac Fezzara Nord-Est Algérien thèse de doctorat. Département de Géologie Université d'Annaba 218 p.
  - Halitim A., (1985): Contribution à l'étude des sols des zones arides (hautes plaines steppiques de l'algérie). Morphologie, distribution et role des sels dans la genès et le comportement des sols. Thèse Doct. es Sciences, Univ. Rennes (1985).
  - Hammor, D., (1992): Du panafricain au miocène : 600 million d'années d'évolution polycyclique dans le massif de l'Edough (Algérie Nord-orientale) retraces par la pétrologie, la tectonique et la géochronologie (V/Pb, Rb/Sr, Sm/Nd et Ar<sup>39</sup>/Ar<sup>40</sup>). Thèse de doctorat, université de Montpellier II, 205p.
  - HANI A., (2003): Analyse méthodologique de la structure et des processus anthropiques : application aux ressources en eau d'un bassin côtier méditerranéen. Thèse de doctorat d'état en géologie appliquée. Université d'Annaba, 214p.
- HAOU F., (2001) : Ornithologie en Algérie, les espèces existantes au niveau du Lac Fetzara(Nord-Est. Algérien).Archives de la liste de discussion « ornithologique ».
- Hilly, J., (1962): Etude géologique du massif de l'Edough ET du Cap de Fer, (Est Constantinois), carte géologique Algérie. Bull, n°19, 399p. These de doctorat.
  - 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 (serie II), 881-884.
  - Joleaud, L., (1936). : Etude géologique de la région de Bône et de la Calle-pub. Service carte géologique. Algérie n°12. 200p.
  - Khelfaoui H, Chaffai H, Mudry J, Hani A., (2013) :Use of discriminant statistical analysis to determine the origin of an industrial pollution type in the aquiferous system of the area of Berrahal, Algeria. Arabian Journal of Geosciences: Volume 6, Issue 11, 4517-4527
  - Khelfaoui Hakim, (2014) : modélisation des écoulements et du transport de masse dans une région industrielle : Exemple de la nappe de BERAHAL, Nord-Est Algérien Thèse doctorat. Département de Géologie Université d'Annaba. 210 p
  - Kölle, W., Strebel, O., Bötther, J., (1990): Reduced sulphur compounds in sandy aquifers and their interactions with groundwater. Proc. Dresden Symp, Groundwater Monitoring and management. IAHS publ. 173, 23-30.



- Djabri. L, a. Hani, d. Messadi et j. Mudry,(2001) : Mise en évidence du processus de salinité des eaux superficielles. Vérification par les ACP dans le secteur Annaba-Boucheougouf-Guelma. *Tribune de l'eau*, vol. 54 - N° 610/2, pp. 29-43.
- Djabri .L, A. Hani, R. Laouar, J. Mania, J. Mudry and A. Louhi,( 2003) : Potential pollution of groundwater in the valley of the Seybouse River, north-eastern Algeria. *Environmental Geology*, vol 44, no 6, pp. 738-744.
- Laura, S., Philippe, B., Werner, S., (2000): Chimie des milieux aquatiques ; chimie des eaux naturelles et des interfaces dans l'environnement, 3e édition ; DUNOD, 567 p.
- Laouar, R., Boyce, A.J., Ahmed Said, Y., Ouabadi, A., Fallick, A.E., Toubal, A., (2002) : Stable isotope study of ignous, metamorphic and mineralized rocks of the Edough complex, Annaba, Northeast Algeria, *Journal of African earth sciences* 35 pp. 271-283.
- MAJOR H., (2010) : Qualité des eaux du massif de l'Edough et son piedmont Sud « BERAHAL », apport des éléments majeurs et traces dans l'identification d'une pollution industrielle, Thèse doctorat, Département de Géologie université d'Annaba 150 p
- Marre, A., (1992) : Le Tell oriental Algérien de Collo à la frontière Tunisienne, étude géomorphologique, volume 1 & 2 O.P.U Alger, Algérie.
- Mariotti, A., (1994): Dénitrification in situ dans les eaux souterraines, processus naturelles ou provoqués : une revue. *Hydrogéologie*, n° 3, pp. 43-68.
- Matthes G-Mijinboun, (1994) : 53, 194. in Forstner U ETWittmannGTW metal pollution in the aquatic environment (355-356).
- M. GHEBOULI.S. (2010) : Utilisation des a.c.p et des rapports caractéristiques dans l'explication du chimisme des eaux souterraines cas de la plaine de bir haddada (sud de setif) *Sciences & Technologie D – N°32 Décembre*, pp. 51-59
- Mehdi M, Belabed B E, Djabri.L, Hani A, Laour R, (2007): Caractéristiques de la décharge de la ville de Tiaret. Son impact sur la qualité des eaux souterraines, revue *Courrier du Savoir N°8 juin .07*, Université de Biskra, pp 93-99. ISSN 1112 – 3338
- N. Bougherira, A. Hani, L. Djabri, F. Toumi, H. Chaffai, N. Haied, D. Nechem, n. Sedrati ,(2014) : Impact of the urban and industrial waste water on surface and groundwater, in the region of Annaba, (Algeria). *Energy Procedia* 50 (2014) 692 – 701. PP692-701
- Nafâa, K., (1985) : Nappes superposées en région côtière, hydrodynamique et hydrochimie (aquifère de Annaba) Nord Est algérien. Th. Doct. Ing. USTL, Montpellier, 159p.
- Norme de la FAO, (1976) : Qualité de l'eau pour l'agriculture. Rome, Organisation des

Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (document FAO sur l'irrigation et le drainage 29, Révision 1

- O.M.S., (2011): Guidelines for drinking-water quality, Vol. 1, Recommendations, 4rd Ed., World Health Organization, Geneva. ISBN 978 92 4 154815 1, 564p.
- Pesson, ,(1979) : pollution des eaux continentales incidence du potassium, sur les biocénoses aquatiques 97-101.
- 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.
  
- S Habes, L Djabri, Y Djabri, (2011): Qualité des eaux d'un lac dans une région côtière de l'est algérien : cas du lac Fetzara. Revue Paralia, 331-334. DOI:10.5150/cmcm.2011.069
  
- Strebel, O., Bötcher, J., Fritz P., (1990): Use of isotope fractionation of sulphate sulfure and sulphate-oxygen to asses bacterial desulfurisation in a sandy aquifer. J. Hydrology, 121, pp. 155-172.
  
- Toubal, A., Toubal, O., (1998): Roche-mère, sol et végétation du massif de l'Edough: segment de la chaîne alpine de l'Algérie orientale. Ecologie, t, 29 (1-2). 207-214.
  
- TOUMI. Faycal, (2008): Impact de la décharge urbaine Berka zega sur les eaux souterraines et sur l'environnement memoire de magistère, Département de Géologie, université d'Annaba.106p
  
- Thomson J. F., Touzé S., avec la collaboration de Baranger Ph., (2003) : le mercure et ses Composés. Comportement dans les sols, les eaux et les boues de sédiments.BRGM/RP-51890-FR, 119p.
  
- Thornthwaite, C.W. and Mather, J.R., (1955). The water balance. Pub. Climatol. Lab. Climatol. Drexel Inst. Technol. 8, 1-104.
  
- Turc, L., (1954). Le bilan d'eau des sols : relations entre précipitations, l'évapotranspiration et L'écoulement. Ann. Agron. 5, 491-596.
  
- Villa, J.M., (1970): Le Dj. Edough ; un massif cristallin externe du Nord-Est de la Berberie/ Bull. Soc. Géol. Fr. 7-XII, n°5, p805-8 12.
  
- Villa, J.M., (1980): La chaîne Alpine d'Algérie orientale et des couffins Algéro-Tunisiens. Thèse doctorat d'état, université Paris VI, 3 volumes, 650p.

- XLSTAT version 2013.5.07, copyright Addinsoft 1995-2013.
- Yves Le Cofrec (2011) : Sites et sols pollués. Edition Dunod, Paris, 407p.
- ZAHI Faouzi, Djemai R, Chaab S, Djabri L, Drouiche A, Medjani F (2012) : Dynamique de la nappe et qualités physico-chimiques des eaux souterraines du lac Fetzara (Nord-Est Algérien). Revue des Sciences Technologiques Synthèse N°26, pp 86-95
- 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 magister. Univ. d'Annaba.

## **Fonctionnement de la décharge**

### **I. La décharge de Berka Zrga**

#### **I.1. Les caractéristiques de la décharge de Berka Zerga**

La décharge de Berka Zerga est une décharge contrôlée compactée. Sa superficie totale près de 30 ha et la surface occupée par l'actuel dépôt est d'environ 5 ha. Le déversement s'effectue au centre de la décharge dans un ravin situé sur la partie basse du site. La hauteur moyenne de la couche d'ordures varie entre 5 à 25m d'épaisseur.

La décharge est opérationnelle elle reçoit environ 200 tonnes/jour de déchets. Ces déchets de nature différente (ménagers, industriels et hospitaliers), sont mis en décharge après le réglage.

#### **I.2. Conditions d'exploitation**

L'APC d'El Bouni est l'organisme responsable à l'exploitation de la décharge et du contrôle du site. Les conditions d'exploitation sont :

- absence de système de récupération et de traitement des lixiviats.
- le chemin de circulation est dans un mauvais état et complètement inaccessible pendant la période pluviale.
- L'absence d'aménagements préalables du site.
- L'absence d'une couverture des couches de déchets.
- L'absence d'une couche imperméable sur la zone d'enfouissement.
- Une faible degré de compactage (la porosité élevée) et l'éparpillement des déchets qui s'en suit.
- Le taux d'évaporation élevé en dehors de la période hivernale. Les précipitations entraîneraient un lessivage et une infiltration des lixiviats à travers la masse des déchets en se chargeant tant en matières minérales qu'en organiques. Ces effluents constituent une source de nuisance (pollution).

#### **I.3. Problèmes liés à la décharge publique**

Vu les conditions d'emplacement et d'exploitation, le site actuel de la décharge présente de sérieux problèmes sur l'environnement et sur la santé de la population avoisinante. Ces nuisances peuvent être résumées comme suite :

- l'exposition presque permanente des récupérateurs et des animaux aux risques de contamination.
- l'éparpillement des déchets ;
- la diffusion des odeurs nauséabondes, provenant de l'accumulation des lixiviats et des gaz tels que les l'H<sub>2</sub>S ;
- l'auto incinération des déchets liée à l'émission du méthane (dégagement des fumées asphyxiantes)

chargées en gaz toxiques) ;

- la multiplication intensive des rongeurs, des insectes et vecteurs de maladies ;
- la présence de cadavres d'animaux en désintégration ;
- la contamination de la nappe par les lixiviats générés par la décharge.

## **II. Les déchets**

### **1. Définitions des déchets**

La notion de déchets peut être définie de différentes manières selon le domaine et l'intérêt d'étude et parfois l'origine et l'état des déchets.

L'O.M.S (1983) a défini un déchet, comme étant quelque chose que son propriétaire ne veut plus, en un certain lieu et en un certain moment, et qui n'a pas de valeur commerciale, courante ou perçue.

On considère comme «solide» un déchet qui est pillétable et comme «liquide » un déchet qui est pompable. De façon générale, au-delà d'une teneur en eau de 95 %, un déchet est liquide.

### **2. Classification des déchets**

L'A.G.H.T.M en 1992, a établi une classification très détaillée des déchets en se basant sur la responsabilité de leur élimination. Ainsi, elle a classé les déchets en cinq catégories (Fig.1).

#### **II.2.1. Déchets urbains**

Ils correspondent aux déchets dont l'élimination est prise en charge par les communes et les collectivités locales.

##### **II.2.1.1. Déchets des ménages**

###### **II.2.1.1.1. Ordures ménagères**

Ce sont les déchets que les ménages peuvent évacuer grâce au ramassage habituel. Ils sont essentiellement composés de matières organiques (déchets ordinaires provenant de la préparation des aliments), papiers carton, verres, plastiques, métaux, textiles, composites (bois, cuir, caoutchouc), cendres, ainsi que

d'autres déchets tels que ceux qui proviennent du nettoyage, débris de vaisselle...etc.

###### **II. 2. 1. 1.2. Déchets encombrants**

Ils sont divers, caractérisés par le fait qu'ils ne peuvent pas être facilement évacués avec les ordures ménagères tels que les appareils ménagers (cuisinières, réfrigérateurs...), emballages de grande taille...etc.

###### **II.2.1.1.3. Déchets de jardinage**

Il s'agit de déchets provenant de l'entretien des pelouses, tailles...etc. **II.**

###### **2.1.1.4. Déchets spéciaux des ménages**

Ce sont des déchets qui entrent dans la catégorie des déchets ménagers mais qui présentent un

danger certain sur l'environnement. Les catégories les plus courantes sont les piles, les restes des produits chimiques ménagers, médicaments périmés, les chlorofluorocarbures (réfrigération, climatisation, bombes aérosols,... etc).

#### **II.2.1.2. Déchets des activités économiques**

Ce sont les déchets issus des activités économiques ou des établissements collectifs et utilisant les mêmes circuits de collecte que les déchets des ménages.

##### **II.2.1.2.1 Déchets assimilables aux ordures ménagères**

Ils sont de même nature que les ordures ménagères tels que les emballages papiers-carton, plastiques...etc.

##### **II.2.1.2.2. Déchets de travaux et de bricolage**

Ils se présentent généralement sous forme de déblais et gravats, bois traité, déchets métalliques, plastiques...etc.

##### **II.2.1.2.3. Déchets liés à l'automobile**

Ce sont les pièces et les produits usagés que le particulier change lui-même (pneus, huile de vidange...etc.), véhicules hors d'usage...etc.

##### **II.2.1.2.4. Déchets toxiques en quantités dispersées**

Ce sont des déchets contenant des produits toxiques tels que les produits de peinture, les matériaux de construction des routes (goudrons...),...etc.

#### **II.2.1.3. Déchets de nettoyage**

Il s'agit des déchets récoltés au travers de l'entretien du domaine public (parcs, espaces verts, voiries, foires...etc.). Ils sont essentiellement constitués par des déchets de consommation, élagages d'arbres, emballages divers...etc.

##### **II.2.1.4. Déchets de l'assainissement**

Ils proviennent du curage ou de traitement des eaux usées collectées: déchets d'entretien, déchets des stations d'épuration, résidus d'installation de prétraitement...etc.

#### **II.2.2. Déchets des entreprises**

Il s'agit des déchets produits par les entreprises industrielles, commerciales et artisanales dont l'élimination est incombée à ces établissements.

##### **II.2.2.1. Déchets inertes**

Ils sont essentiellement constitués par les déblais et gravats ainsi que de déchets minéraux provenant des activités d'extraction minière.

##### **II.2.2.2. Déchets banals**

Ce sont des déchets assimilables aux ordures ménagères et qui utilisent les mêmes filières d'élimination que ces dernières.

Il s'agit essentiellement de déchets constitués de papiers, cartons, plastiques, bois, emballages, verres, matières organiques.

### **II.2.2.3. Déchets spéciaux**

C'est l'ensemble des déchets qui contiennent, en fonction de l'activité économique productrice, des substances qui justifient des précautions particulières lors de leur élimination. Ils peuvent être de nature très différente : déchets organiques solides ou liquides, déchets minéraux liquides ou semi-liquides, déchets minéraux solides. Parmi ces déchets, nous pouvons citer les déchets spéciaux dangereux ou toxiques qui contiennent des quantités de substances toxiques potentiellement plus importantes et qui présentent plus de risques pour le milieu naturel.

#### **II.2.2.3.1. Déchets dangereux ou toxiques**

Ils contiennent en quantité très importante des substances potentiellement toxiques présentant ainsi des risques pour l'environnement, par exemple les bains de traitement de surface, les sels de trempes arséniés...etc.

#### **II.2.2.3.2. Déchets toxiques industriels en quantité dispersée**

Ce sont des déchets produits en faible quantité par les laboratoires, les industries artisanales, les imprimeries... Ils comprennent les plaques de vernis, les peintures, les colorants, les déchets de laboratoires...etc.

### **II.2.3. Déchets hospitaliers**

Ce sont les déchets qui proviennent des hôpitaux, cliniques, dispensaires, services vétérinaires, laboratoires biologiques...etc.

#### **II.2.3.1. Déchets domestiques**

Il s'agit des déchets assimilables aux ordures ménagères tels que les déchets des lieux d'hébergement produits en dehors des zones d'hospitalisation et de soin, déchets de restauration et de cantines, déchets d'administration, déchets de jardinage appelés aussi déchets verts...

#### **II.2.3.2. Déchets spécifiques**

Ce sont les déchets particuliers à l'activité hospitalière et qui ne sont pas contaminés tels que : pansements non septiques, plâtres, couches, déchets des malades non contagieux, déchets autoclavés....

#### **II.2.3.3. Déchets à risque ou contaminés**

Ils correspondent aux déchets infectieux et provenant des services de chirurgie, d'obstétrique, de gynécologie, de laboratoires, de maladies infectieuses...etc.

Dans cette catégorie, sont aussi rangés des déchets qui ne sont pas infectieux au sens clinique du terme

mais qui ne peuvent être mélangés aux déchets spécifiques en raison principalement de nuisances visuelles et de l'impact psychologique qu'ils représentent pour la population ou le personnel de manutention tels que les membres amputés, petits déchets anatomiques, placenta, les déchets de dialyse...etc.

#### **II.2.3.4.Déchets hospitaliers toxiques en quantité dispersée**

Ce sont les déchets contenant du mercure, déchets de laboratoires, anciens médicaments, déchets de radiologie....

#### **II.2.4. Déchets agricoles**

Ils proviennent des exploitations agricoles, des élevages ou des industries agro-alimentaires artisanales.

##### **II.2.4.1. Déchets liés à l'exploitation**

Ils se présentent sous forme de déjections d'élevages (fumiers, lisiers...), déchets de cultures et d'exploitation des forêts, résidus de production (écarts de triage et produits de parage)...etc.

##### **II.2.4.2. Déchets des industries agro-alimentaires**

Ce sont des rejets et des déchets de triage, carcasses et déchets des abattoirs, rebuts de conserverie, refus des laiteries et fromageries, déchets forestiers et de scieries, pulpes et mélasse des sucreries.

##### **II.2.4.3. Déchets induits par l'exploitation agricole**

Il s'agit de matières plastiques (emballages), huiles usagées et pneus, pièces mécaniques...etc.

##### **II.2.4.4. Déchets agricoles toxiques en quantité dispersée**

Ils correspondent à la partie des déchets agricoles qui présentent une certaine toxicité pour l'environnement et pour l'homme (contenants des pesticides, ...).

#### **II.2.5. Déchets toxiques en quantité dispersée (D.T.Q.D)**

Il s'agit des déchets toxiques produits en petites quantités par les particuliers, les artisans, les industries, les laboratoires et les agriculteurs.

##### **II.2.5.1. Déchets de laboratoire**

Ils concernent l'enseignement, l'industrie et le monde médical. Il s'agit des produits tels que les solvants, les acides, les bases...etc.

##### **II.2.5.2.Produits phytosanitaires**

Il s'agit des emballages vides et des produits non utilisés (herbicides, insecticides, fongicides).

##### **II.2.5.3.Déchets des ateliers**

Ces déchets se présentent généralement sous forme de solvants, acides, bases, peintures, bains



photographiques...etc.

#### II.2.5.4.Déchets domestiques

Ils correspondent à des pesticides, solvants, huiles, acides, peintures, bains photographiques, bombes aérosols...etc.

### Responsable de l'élimination

#### Catégories de déchets

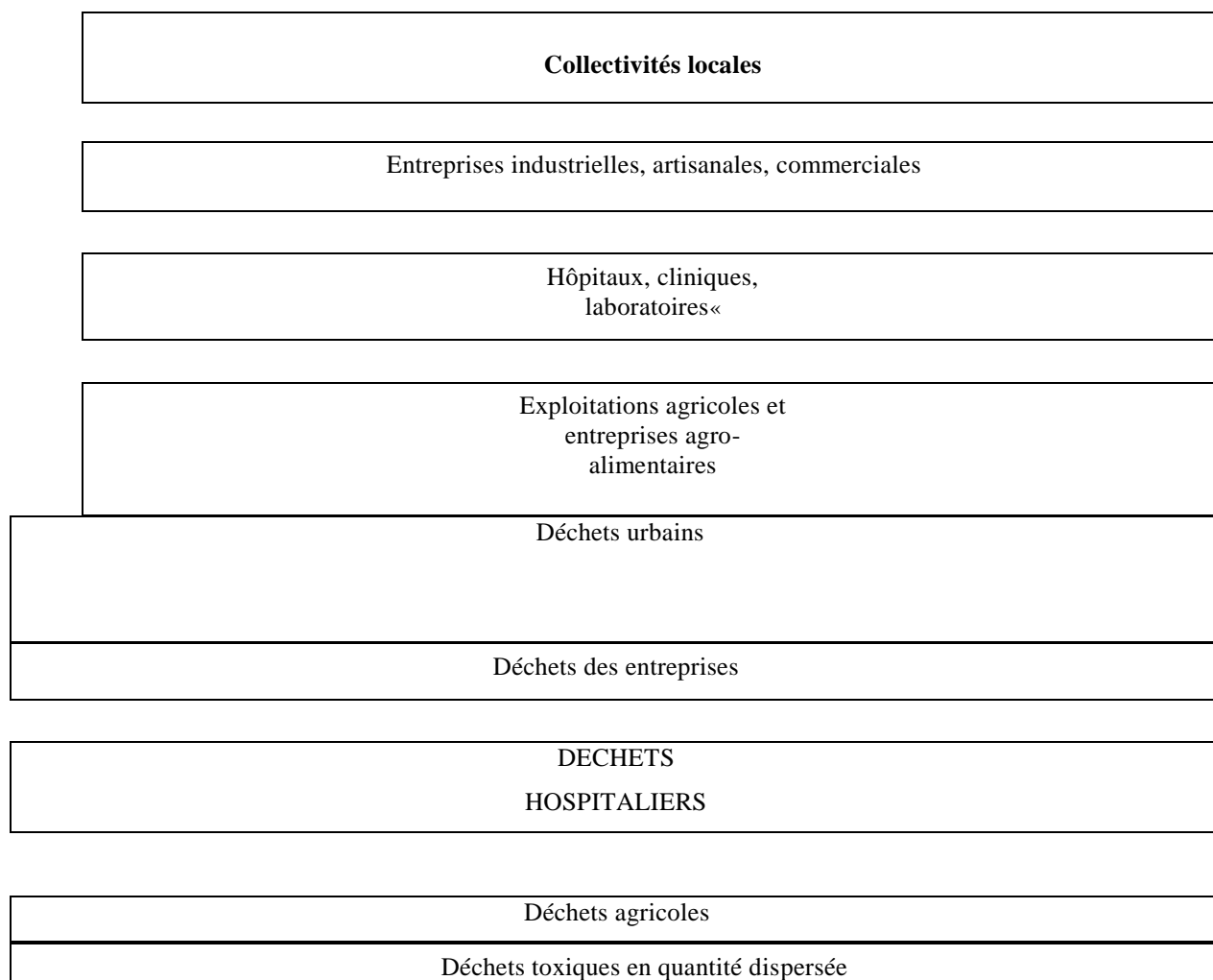


Fig. 1: Les grandes catégories de déchets (I·A.G.H.T.M., 1992).

#### II.3. Classification des décharges

La classification des décharges est basée sur la valeur du coefficient de perméabilité (K) du sol du site choisi pour accueillir une décharge. Ce coefficient définit la vitesse de percolation des eaux dans un sous-sol. Ainsi, on distingue trois classes de site et chaque classe est désignée à recevoir un

type bien spécifique de déchet (Tableau. 1). Les sites d'une classe peuvent recevoir les déchets de la classe inférieure.

### II.3.1. Sites classe I

Il s'agit de sites étanches implantés sur des terrains d'ardoise, grès, schistes, ... Ils peuvent recevoir en plus des déchets ménagers, les déchets industriels spéciaux (DIS) ainsi que les déchets d'activité de soin à risque infectieux.

### II.3.2. Sites classe II

Ce sont des sites semi-perméables comme les terrains sablo-argileux, les grès Ils ne peuvent recevoir que les déchets ménagers provenant de l'activité domestique ainsi que les déchets industriels et hospitaliers assimilables aux ordures ménagères (cas de la décharge étudiée)

### II.3.3. Sites classe III

Il s'agit de sites perméables qui se laissent facilement s'infiltrer par les lixiviats. Ils sont retenus uniquement pour les déchets ménagers et les déchets inertes qui ne subissent aucune modification physique, chimique ou biologique.

**Tableau. 1 : Différents types de site de décharges (A.N.R.E.D., 1986).**

Catégorie du site	K (m.s <sup>-1</sup> )	Caractéristiques du site	Type de déchets
Classe I : site imperméable	K≤1 0.9	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Aptitude</li> <li>- Fond imperméable.</li> <li>- Aptitude à un façonnage garantissant les écoulements vers un point bas.</li> <li>à l'implantation d'un ouvrage de industriels contournement évitant l'entrée des eaux superficielles.</li> <li>- Aptitude à une couverture en pente favorisant le ruissellement.</li> </ul>	Déchets ménagers + Déchets spéciaux

Classe II : site semi-perméable	$10^{-9}$ £ K -Infiltration £ $10^{-6}$	Capacité du site à assurer une épuration des lixiviats. modérée du bilan hydrique, les écoulements vers un point bas. -Intérêt à protéger les eaux souterraines contre les risques de pollution.	Déchets ménagers +Déchets industriels assimilables aux déchets ménagers
Classe III : site perméable	$K \times 10^{-6}$	Migration trop rapide des lixiviats constituant un risque élevé de pollution des nappes d'eau souterraine.	Déchets ménagers +Déchets industriels inertes

#### II.4. Type de décharge

Nous pouvons distinguer deux grands types de décharge : décharges sauvages et décharges contrôlées.

##### II.4.1. Décharges non contrôlées

Elles sont très répandues dans les pays du tiers monde. Elles consistent à mettre les déchets sans aucun traitement préalable dans des dépotoirs n'ayant subi aucune étude appropriée du site. Ce sont généralement les anciennes carrières qui sont exploitées comme décharges sauvages.

##### II.4.2. Décharges contrôlées

Généralement, elles peuvent être classées en cinq grandes familles de mise en décharge.

##### A. Décharge contrôlée traditionnelle

Elle consiste à étaler les déchets en couches successives d'une épaisseur modérée (0,5 à 2 m) puis les recouvrir en fin de jour par une couche constituée de matériau inerte de 10 à 30 cm d'épaisseur (argile par exemple). Les déchets évoluent en aérobiose, l'air pénètre à travers les déchets.

##### B. Décharge contrôlée compactée

C'est une technique qui permet de prolonger la durée de vie d'une décharge. Elle consiste à compacter les déchets avant leur mise en décharge. Leur densité augmente et l'air contenu dans les déchets est chassé. Le compactage aboutit à la formation d'un ensemble peu perméable, les risques d'incendie sont très faibles. Toutefois, les déchets évoluent en anaérobiose produisant ainsi des biogaz chargés de composés malodorants. La production des lixiviats chargés en matière polluante, est très importante.

## **C. Décharge aérobie**

C'est un mode de gestion différent des deux précédents. Il consiste à trier lors de la collecte, les matériaux fermentescibles des matériaux inertes. Les déchets fermentescibles sont ensuite broyés et mélangés à l'aide de matériel très spécial et mis dans le site pour fermentation. Les déchets inertes subissent un autre traitement à part. Cette technique requiert une surface d'exploitation beaucoup plus importante, elle permet de limiter la formation des lixiviats grâce à la fermentation thermophile.

## **D. Décharge d'ordures broyées**

Les déchets sont broyés avant leur mise en décharge. Ils sont réduits à des fragments dont le plus grand à une taille de l'ordre de 10 cm. La masse obtenue est très homogène et laisse l'air circuler, ce qui facilite une fermentation aérobie

accélérée. Cependant, la production de lixiviats fortement pollués est très importante à la suite de la circulation de l'eau à travers les déchets, elle est plus ou moins égale à celle des décharges compactées.

## **E. Décharge en balles**

Cette technique est très utilisée en Allemagne et en Grande-Bretagne. Elle consiste à comprimer les déchets à une densité d'environ 0,9, puis les mettre en balles ligaturées d'un volume de 1 à 5 m<sup>3</sup>. Les balles sont ensuite rangées dans le site de décharge par couches successives. Les lixiviats sont produits en grande quantité mais ils sont peu chargés en matière polluante du fait que l'eau qui s'infiltre, circule préférentiellement entre les balles sans les pénétrer.

## **II.5. Les lixiviats de décharge**

### **II.5.1. Définition**

Le terme lixiviat désigne les eaux météoriques qui en percolant à travers une décharge, s'enrichissent en divers polluants minéraux et organique avant de devenir des eaux usées appelées lixiviats ou encore «percolats », «lessivats », ou «jus de décharge ». La lixiviation est la migration des substances solubles et le lessivage correspond à la migration des particules en suspension.

### **II.5.2. La composition**

La composition des lixiviats de décharge est très aléatoire est variée en fonction de la nature des déchets, l'âge de la décharge, la technique d'exploitation et les conditions climatiques.

### **II.5.3. Classification des lixiviats**

Millot, 1986 a été classé lixiviat en trois grandes familles :

#### **II.5.3.1. Les lixiviats jeunes**

- charge organique élevée (DCO > 20 g/l) ;
- biodégradabilité moyenne (DBO<sub>5</sub>/DCO > 0,3) ;
- pH de l'ordre de 6,5 ;

- concentration importante en acide carboxylique (80 % de la charge organique) ;
- teneur élevée en métaux lourds (jusqu'à 2 g/l) ;
- COT/ DCO est proche de 0,3 ;
- concentration importante en acide gras volatil (AGV) et faible teneur en composés de haut poids moléculaire.

### **II.5.3.2.Les lixiviats intermédiaires**

- charge organique moyenne ( $3 < \text{DCO} < 15 \text{ g/l}$ ) ;
- biodégradabilité assez faible ( $\text{DBO}_5/\text{DCO} \approx 0,2$ ) ;
- acides carboxyliques représentent 20 à 30 % ;
- pH proche de la neutralité (pH  $\approx 7$ ) ;
- diminution de la teneur en métaux.

### **II.5.3.3. les lixiviats stabilisés**

- charge organique assez faible ( $\text{DCO} < 2 \text{ g/l}$ ) ;
- biodégradabilité très faible ( $\text{DBO}_5/\text{DCO} < 0,1$ ) ;
- pH largement supérieur à 7,5 ;
- absence d'acide carboxylique ;
- concentration faible en métaux lourds ( $< 50 \text{ mg/l}$ ) ;
- présence de composés difficilement oxydables ( $\text{COT}/\text{DCO} = 0,4$ ) ;
- Concentration très importante en composés à haut poids moléculaire ( $\text{PMA} > 5000$ ).

## **Annexe 2 Précipitations mensuelles :Station les Salines (1972-2006)**

Mois Année	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mars	Av.	Mai	Juin	Juillet	Août	Cumul
1972/73	11.60	78.20	11.60	115.80	149.00	79.00	200.00	16.00	1.00	42.00	0.00	5.00	<b>709.20</b>
1973	12.00	79.00	12.00	116.00	15.00	87.00	47.00	17.00	24.00	2.00	2.00	1.00	<b>414.00</b>
1974	13.60	117.00	42.00	55.00	33.00	55.00	56.00	6.00	53.00	1.00	0.00	19.00	<b>450.60</b>
1975	2.00	12.00	118.00	55.00	40.00	60.00	71.00	34.00	48.00	18.00	19.00	19.00	<b>496.00</b>
1976	51.00	176.00	172.00	38.00	71.00	12.00	12.00	118.00	49.00	32.00	1.00	27.00	<b>759.00</b>
1977	30.00	17.00	126.00	17.00	110.00	88.00	63.00	49.00	33.00	8.00	0.00	3.00	<b>544.00</b>
1978	6.00	54.00	81.00	19.00	65.00	116.00	106.00	176.00	18.00	29.00	4.00	5.00	<b>679.00</b>
1979	59.00	46.00	130.00	19.00	53.00	79.00	70.00	93.00	60.00	0.00	0.00	0.20	<b>609.20</b>
1980	12.00	53.00	71.00	175.00	106.00	77.00	50.00	30.00	14.00	37.00	0.00	8.00	<b>633.00</b>
1981	21.00	31.00	39.00	141.00	131.00	145.00	134.00	69.00	33.00	1.40	0.00	15.00	<b>760.40</b>
1982	25.00	173.00	135.00	129.00	35.00	23.00	74.00	40.00	20.00	14.00	0.10	10.00	<b>678.10</b>
1983	82.00	67.00	173.00	86.00	227.00	160.00	77.00	42.00	15.00	8.00	0.20	0.60	<b>937.80</b>
1984	20.00	253.00	68.00	241.00	101.00	49.00	130.00	41.00	10.00	4.00	0.00	10.00	<b>927.00</b>
1985	31.00	38.00	42.00	66.00	118.00	72.00	105.00	34.00	10.40	23.00	3.40	0.20	<b>543.00</b>
1986	18.00	126.00	147.00	182.00	124.00	127.00	74.00	37.00	69.00	0.30	1.00	4.00	<b>909.30</b>
1987	41.00	28.00	70.00	15.00	88.00	87.00	47.00	49.00	30.00	33.00	3.00	0.00	<b>491.00</b>
1988	52.00	7.00	82.00	182.00	37.00	53.00	42.00	60.00	19.00	14.00	3.00	6.00	<b>557.00</b>
1989	22.00	79.00	56.00	106.00	130.00	6.00	44.00	37.00	30.00	19.00	0.00	6.00	<b>535.00</b>
1990	2.00	30.00	107.00	181.00	92.00	73.00	96.00	24.00	61.00	14.00	0.30	9.00	<b>689.30</b>
1991	52.00	100.00	67.00	29.00	69.00	81.00	65.00	112.00	83.00	15.00	11.00	0.60	<b>684.60</b>
1992	0.00	36.40	126.00	143.00	83.70	42.00	81.00	59.00	66.00	3.00	0.00	4.00	<b>644.10</b>
1993	0.00	55.00	20.00	160.00	84.00	86.00	5.00	79.20	17.00	13.00	0.10	0.40	<b>519.70</b>
1994	18.00	46.80	19.40	109.90	180.00	20.00	74.00	37.00	10.10	29.00	0.10	4.00	<b>548.30</b>
1995	75.00	10.00	80.00	66.00	92.00	209.00	71.00	106.00	65.00	16.00	6.00	11.00	<b>807.00</b>
1996	27.00	41.00	45.00	63.00	61.00	49.00	43.10	33.00	6.00	33.70	0.00	21.00	<b>422.80</b>
1997	118.00	103.00	215.00	141.00	70.00	87.00	35.00	85.00	49.00	6.00	0.00	32.00	<b>941.00</b>
1998	64.00	237.00	61.00	63.00	157.00	103.00	48.00	44.00	38.00	9.00	13.00	4.00	<b>841.00</b>
1999	16.60	30.00	111.00	136.00	50.00	24.00	31.00	20.00	115.00	10.00	0.00	16.00	<b>559.60</b>
2000	19.30	105.00	37.00	108.00	112.00	75.00	19.00	40.00	28.00	4.00	0.40	3.00	<b>550.70</b>
2001	4.00	47.00	60.00	82.00	29.00	49.00	32.00	62.00	15.00	0.30	13.00	67.00	<b>460.30</b>
2002	24.00	73.00	188.00	147.10	186.00	86.00	21.00	91.00	26.00	0.00	0.00	0.00	<b>842.10</b>
2003	67.00	39.00	20.00	171.00	110.00	23.00	69.00	97.00	75.00	32.00	2.00	3.00	<b>708.00</b>
2004/05	81.00	21.00	179.60	185.00	135.90	179.50	61.00	123.20	10.00	3.40	1.10	7.00	<b>987.70</b>
2005/06	29.30	15.10	55.10	184.00	131.20	72.60	45.00	15.30	26.00	7.60	1.50	29.80	<b>612.50</b>
<b>Moyenne</b>	<b>34.49</b>	<b>69.33</b>	<b>93.58</b>	<b>110.97</b>	<b>99.32</b>	<b>77.84</b>	<b>61.13</b>	<b>62.47</b>	<b>37.05</b>	<b>14.09</b>	<b>2.68</b>	<b>10.51</b>	<b>673.47</b>

Températures mensuelles: Station les Salines (1972-2006)

Mois Année	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars.	Av.	Mai	Juin	Juill.	Août	Moyenne
1972/73	24.00	19.60	14.60	12.39	11.10	10.10	10.90	13.80	18.70	22.10	24.50	25.00	<b>17.23</b>
1973	24.00	19.60	14.60	12.40	12.50	11.70	13.70	13.80	17.90	21.39	22.90	24.10	<b>17.38</b>
1974	23.30	17.40	14.50	11.80	11.60	11.00	12.20	13.50	16.80	19.90	22.90	24.60	<b>16.63</b>
1975	24.50	18.20	14.40	12.50	10.90	10.90	11.50	17.60	17.60	20.70	24.40	22.50	<b>17.14</b>
1976	22.20	13.30	13.30	12.30	13.00	13.70	13.70	15.70	18.00	20.90	32.90	24.00	<b>17.75</b>
1977	21.10	20.10	15.50	10.19	10.20	13.50	13.40	14.10	17.60	21.00	23.20	24.50	<b>17.03</b>
1978	22.40	17.50	13.30	14.30	13.30	13.00	13.20	13.30	17.80	22.30	24.70	24.50	<b>17.47</b>
1979	21.70	19.50	13.80	12.50	11.30	12.20	12.90	13.40	16.80	20.30	22.50	24.70	<b>16.80</b>
1980	23.20	18.60	15.90	10.30	18.00	11.90	14.50	13.30	18.20	21.20	22.90	24.20	<b>17.68</b>
1981	25.60	21.10	15.00	14.70	12.90	12.00	12.90	14.90	18.30	23.90	27.50	25.50	<b>18.69</b>
1982	23.80	20.30	15.80	11.60	10.80	10.50	13.10	16.10	18.50	12.10	26.80	25.40	<b>17.07</b>
1983	23.90	19.70	17.20	13.00	11.70	11.10	12.30	14.40	17.70	20.70	24.80	24.00	<b>17.54</b>
1984	22.30	18.70	16.80	12.30	10.70	14.00	12.00	15.70	18.00	21.70	25.10	24.80	<b>17.68</b>
1985	25.70	20.00	17.10	13.00	11.80	11.60	12.90	15.30	15.20	20.90	24.00	26.20	<b>17.81</b>
1986	22.50	21.30	15.30	12.00	11.30	12.40	12.50	15.80	17.10	21.40	25.40	26.50	<b>17.79</b>
1987	25.60	22.90	16.20	14.40	13.10	11.30	13.80	16.20	19.40	22.40	25.10	26.10	<b>18.88</b>
1988	22.40	21.70	16.00	11.40	10.70	11.60	14.30	15.30	14.80	21.20	25.20	26.30	<b>17.58</b>
1989	23.60	19.40	16.50	17.20	12.10	13.70	13.90	15.40	19.80	22.60	24.90	24.60	<b>18.64</b>
1990	25.30	22.40	16.60	11.00	10.46	10.81	14.85	13.67	15.79	21.30	24.64	25.62	<b>17.70</b>
1991	24.70	19.90	14.35	10.78	9.70	10.76	12.87	14.74	17.94	21.36	23.31	25.58	<b>17.17</b>
1992	24.17	19.84	15.95	14.70	10.16	10.34	11.49	15.01	18.84	22.23	24.61	26.62	<b>17.83</b>
1993	20.58	15.19	9.79	12.22	12.21	12.00	13.80	14.02	19.49	20.05	25.63	28.28	<b>16.94</b>
1994	25.40	20.32	17.19	12.97	11.41	13.58	12.38	14.34	19.21	21.84	24.89	26.11	<b>18.30</b>
1995	23.14	20.09	16.30	14.32	13.45	11.04	13.33	15.34	18.32	27.60	24.32	25.82	<b>18.59</b>
1996	21.80	18.10	16.25	13.93	13.01	12.41	12.79	15.28	20.12	23.41	24.77	25.93	<b>18.15</b>
1997	23.45	20.72	12.78	13.28	11.86	12.24	13.67	16.28	18.28	23.55	24.82	25.27	<b>18.02</b>
1998	11.16	13.87	18.25	23.89	11.86	10.14	14.14	15.49	20.37	23.38	25.24	27.50	<b>17.94</b>
1999	25.21	22.39	15.18	12.09	9.07	13.51	11.99	16.03	19.66	22.00	25.30	26.87	<b>18.28</b>
2000	23.07	18.89	15.82	12.73	12.01	11.02	15.99	14.56	18.16	22.67	24.97	25.65	<b>17.96</b>
2001	21.86	22.95	15.33	11.26	9.77	11.52	13.65	15.15	18.65	22.70	24.76	24.93	<b>17.71</b>
2002	22.59	19.63	16.30	13.49	11.45	10.56	13.24	16.40	18.45	24.78	27.59	28.10	<b>18.55</b>
2003	23.56	21.20	16.06	11.71	11.54	12.26	12.72	14.43	17.17	20.84	24.46	26.24	<b>17.68</b>
2004/05	23.00	21.20	13.95	12.20	9.20	9.20	12.40	15.30	18.90	23.00	25.60	24.70	<b>17.39</b>
2005/06	22.60	20.30	15.70	11.10	9.80	10.90	13.30	16.70	19.70	22.20	25.80	24.90	<b>17.75</b>
<b>Moyenne</b>	<b>23.04</b>	<b>19.59</b>	<b>15.34</b>	<b>12.94</b>	<b>11.59</b>	<b>11.72</b>	<b>13.13</b>	<b>15.01</b>	<b>18.15</b>	<b>21.75</b>	<b>25.01</b>	<b>25.46</b>	

Nom station : BERRAHAL

précipitation (1981-2006)

Mois	sept	oct.	nov	Dec	Janv.	Fev	mars	avril	mai	juin	juil	Aout	Précipitations annuelles
1981/82	37	49	30,9	195	147	165	80,9	59	18	13	3	35,9	833,7
1982/83	20,8	100	174,6	102,4	69	22,3	108	11,9	20,9	2	0,5	1,6	634,0
1983/84	12,5	64,4	107	69,5	161	170	57,9	69,9	22,6	20,7	0	0,7	756,2
1984/85	49,8	88	31,1	292	143	46	160	31,5	37,7	0	0	0	879,1
1985/86	24,6	23,9	62,1	60,4	143,9	70,5	99,2	59,4	6,3	15,6	4,4	3,6	573,9
1986/87	29,2	82,8	93,6	140,0	102,4	174,5	94,5	42,5	83,2	0,1	2,7	1,5	847,0
1987/88	19,5	26,7	97,5	32,2	94,1	83,2	45,3	28,8	41,3	42,3	8,7	0,0	519,6
1988/89	25,1	2,2	10,0	116,6	57,1	47,1	62,8	97,8	6,6	19,0	7,0	3,4	454,7
1989/90	21,0	54,7	92,1	87,4	126,6	6,0	13,1	36,3	14,7	11,7	0,0	10,1	473,7
1990/91	7,5	65,4	95,7	175,9	74,9	80,5	93,3	34,0	57,6	8,9	0,0	11,2	704,9
1991/92	40,5	115,9	44,1	15,0	59,0	68,7	70,9	143,3	84,0	35,3	11,2	0,0	687,9
1992/93	1,4	40,3	113,3	227,1	70,3	36,6	64,8	56,4	47,7	1,1	1,1	0,5	660,6
1993/94	17,2	71,7	26,1	182,6	107,1	72,2	63,2	80,8	20,9	0,0	8,0	0,8	650,6
1994/95	17,6	46,1	28,5	161,0	151,1	14,4	85,2	22,2	2,6	10,2	0,0	8,7	547,6
1995/96	55,2	7,9	77,5	109,3	105,5	191,0	46,8	102,8	48,9	1,6	1,6	9,4	757,5
1996/97	34,9	103,3	136,1	88,6	90,9	100,1	10,6	12,9	5,7	41,0	7,1	1,2	632,4
1997/98	59,8	134,1	176,3	106,9	47,3	46,9	27,9	55,1	75,2	11,5	0,0	8,5	749,5
1998/99	62,2	45,2	190,0	108,7	105,3	100,2	50,6	47,7	25,0	11,3	1,0	0,9	748,1
1999/2000	11,0	9,5	73,9	159,6	92,6	13,9	20,5	20,7	205,6	14,8	0,0	0,8	622,9
2000/2001	9,2	79,7	48,3	95,2	198,9	49,0	28,1	74,9	16,0	0,0	0,0	5,8	605,1
2001/2002	35,7	70,3	88,9	66,5	29,8	83,1	21,6	39,2	11,5	0,0	21,8	35,1	503,5
2002/2003	13,4	89,0	258,9	194,6	185,8	67,4	11,4	97,2	20,0	0,0	0,0	0,0	937,7
2003/2004	43,7	28,2	32,6	225,1	119,8	25,3	69,8	109,4	65,6	29,0	6,0	0,0	754,5
2004/2005	80,0	12,7	213,7	181,3	156,6	210,9	34,3	146,8	12,6	3,4	1,1	15,5	1068,9
2005/2006	24,0	40,0	60,0	154,2	146,2	73,9	34,8	26,1	21,0	6,7	1,5	2,3	590,7
<b>moyenne</b>	<b>30,1</b>	<b>58,0</b>	<b>94,5</b>	<b>133,9</b>	<b>111,4</b>	<b>80,7</b>	<b>58,2</b>	<b>60,3</b>	<b>38,8</b>	<b>12,0</b>	<b>3,5</b>	<b>6,3</b>	<b>687,8</b>



**Coordonnées des points de prélèvement des échantillons des lixiviats**

NOM	x(m)	y(m)	topo(m)
Lix 01	940.018	401.449201	42
Lix 02	939.794	401.973320	41
Lix 03	939.496	401.922100	30
Lix 04	938,872499	401,691684	25
Lix 05	938,84551	402,204271	25
Lix 06	938,724063	402,261225	13
Lix 07	938,224779	402,076125	13
Lix 08	938,467674	402,289703	13
Lix 09	938,211285	402,417849	13
Lix 10	937,860437	402,574473	13

**Coordonnées des points de prélèvement des échantillons de sol**

NOM	x(m)	y(m)	topo(m)
S 01	939,724063	402,26122	28
S 02	939.496	402.023320	25
S 03	939.050	401.922100	30
S 04	938.01547	402,12547	25
S 05	937,11551	403,00427	25
S 06	936,724063	402,16122	13
S 07	936,224779	401,47612	13
S 08	935,467674	401,99703	13
S 09	935,211285	403.0054	13

## Annexe 04

Métal	Différentes formes	Effets aigus	Effets chroniques non cancérogènes	Effets chroniques cancérogènes / Classification	Existence d'une VTR
<b>Cuivre</b>	Cuivre élémentaire (n° CAS: 7440-50-8) Sels de cuivre (Cu+ et Cu2+)	<p>Le cuivre métallique a une toxicité plus faible que les sels de cuivre.</p> <p><b>Inhalation</b> : les fumées et les poussières contenant du cuivre provoquent : irritation des muqueuses respiratoires et oculaires, congestion des muqueuses nasales, congestion du pharynx, ulcération voire perforation du septum nasal.</p> <p><b>Ingestion</b> : l'absorption d'une dose unique d'un dérivé du cuivre donne lieu à : goût métallique, douleurs épigastriques, céphalées, nausées, étourdissements, vomissements et diarrhée, tachycardie, difficultés respiratoires, anémie, hématurie, hémorragie gastro-intestinale massive, insuffisance hépatique et rénale aboutissant à la mort.</p> <p><b>Contact cutané</b> : aucune donnée n'est disponible.</p>	<p><b>Inhalation</b> : le cuivre et ses dérivés induisent une irritation des voies aériennes supérieures et des troubles gastro-intestinaux (anorexie, nausée, diarrhée). Une diminution du taux d'hémoglobine et du nombre d'érythrocytes a été également observée ainsi que des lésions hépatiques (fibrose, cirrhose micronodulaire, angiosarcome, hypertension portale).</p> <p><b>Ingestion</b> : le cuivre peut induire une insuffisance hépatique aiguë et une hépato-splénomégalie. Le sulfate de cuivre induit une nécrose hépatiques centrolobulaire et une nécrose tubulaire rénale.</p> <p><b>Contact cutané</b> : le cuivre et ses dérivés peuvent provoquer des réactions allergiques chez certains individus. L'exposition au cuivre peut également provoquer une anémie, une décoloration de la peau .</p>	<p>Aucune certitude n'a pu être établie concernant le rôle potentiellement cancérogène du cuivre chez l'homme.</p> <p><b>Union Européenne</b> Non classé.</p> <p><b>CIRC – IARC (1987)</b> 8-hydroxyquinoléate de cuivre : Groupe 3. Pour les cuivre et autres composés, il n'existe pas de classification.</p> <p><b>US EPA (IRIS)</b> Cuivre et dérivés : Classe D (1991). OUI (Cuivre et ses dérivés)</p>	OUI (Cuivre et ses dérivés)

Annexe 04

<p><b>Nickel</b></p>	<p>Le nickel, métal insoluble dans l'eau, peut, lorsqu'il est sous forme de très fines particules, s'oxyder en formant des ions Ni<sup>2+</sup> dans l'eau et les liquides biologiques tels que le sang.</p>	<p>Le nickel élémentaire en lui même n'est pas toxique</p>	<p><b>Inhalation</b> : le nickel métal augmenterait l'incidence des décès par pathologie respiratoire à une concentration supérieure à 0,04 mg/m<sup>3</sup> .</p> <p><b>Ingestion</b> : aucune donnée n'est disponible</p> <p><b>Contact cutané</b> : aucune donnée n'est disponible.</p>	<p>Union Européenne Dioxyde de nickel, disulfure de tri-nickel, monoxyde de nickel, sulfure de nickel, trioxyde de dinickel : Catégorie 1. Nickel, tétracarbonyl nickel, carbonate de nickel, dihydroxyde de nickel, sulfate de nickel : Catégorie 3. CIRC – IARC (1990) Composés du nickel (évalués en groupe) : Groupe 1. Le nickel (métal) et ses alliages : Groupe 2B. US EPA (IRIS) (1991) Poussières d'affinerie de nickel, disulfure de tri-nickel : Classe A. Tétracarbonyl nickel : Classe B2.</p>	<p>OUI (Poussières de nickel)</p>

Annexe 04

Plomb	Plomb-élément	Aucune donnée n'est disponible.	Aucune donnée n'est disponible.	Le plomb élémentaire n'est pas classé	NON
	<p>Composés inorganiques : deux états d'oxydation +II et + IV (sulfate, carbonate, silicate,...)</p> <p>Composés organiques : dérivés méthylés (dont le plomb tétraéthyl et le plomb tetraméthyl) et halogénés</p>	<p>L'intoxication aiguë ne se rencontre plus que très rarement.</p> <p><b>Inhalation</b> : aucune donnée n'est disponible. Ingestion : les troubles digestifs sont parmi les symptômes les plus précoces (fortes coliques associées à des douleurs et crampes abdominales et vomissements). Une atteinte rénale a été aussi décrite (lésions tubulaires caractérisées par une oligurie, une albuminurie, une glycosurie et une hyperphosphaturie). En cas d'atteinte sévère, les lésions au niveau du système nerveux central se manifestent cliniquement par une encéphalopathie convulsive et un coma pouvant conduire à la mort. Enfin, des atteintes hépatiques ont été observées chez des enfants présentant des signes d'intoxication aiguë par le plomb. Contact cutané :</p> <p>aucune donnée n'est disponible.</p>	<p>Pour le plomb et ses dérivés, les symptômes observés sont données en fonction du taux de plombémie et non en fonction de la voie d'exposition. Il en sera de même dans ce tableau. Les organes cibles sont le système nerveux central et périphérique, le système circulatoire, les reins et les organes de reproduction. Les intoxications sévères (plombémies &gt; 1 500 µg/L) se traduisent par une encéphalopathie saturnine grave. Pour des intoxications moins importantes (plombémies &lt; 1 000 µg/L), des troubles d'ordre neurologique ont été observés (irritabilité, troubles du sommeil, anxiété, perte de mémoire, confusion, sensation de fatigue). L'exposition à des niveaux très élevés provoque des paralysies partielles, en particulier au niveau des membres supérieurs. Le plomb induit aussi des anémies, des insuffisances rénales, un effet déprimeur sur la glande thyroïde et des effets sur la croissance de l'os chez les enfants. Le plomb induit également des avortements spontanés et la mort fœtale.</p> <p>L'encéphalopathie résultant d'une intoxication aux dérivés alkylés est différente de celle due au plomb inorganique. On retrouve le plus fréquemment des troubles psychiatriques, hallucinations, tremblements, délire, insomnie, maux de tête et des variations d'humeur. La durée de l'intoxication va de 1 à 10 semaines. Des convulsions et un coma apparaissent uniquement dans les cas sévères.</p>	<p><b>Union Européenne</b> Chromates, acétate de plomb, sulfochromates et sulfochromates molybdates de plomb : Catégorie 3.</p> <p><b>CIRC – IARC (2004 – en cours)</b> Plomb et dérivés inorganiques : Groupe 2A.</p> <p><b>US EPA (IRIS)</b> Plomb et dérivés inorganiques : Classe B2 (1993).</p> <p><b>Union Européenne</b> Arséniate de plomb, hydrogéoarsénate de plomb : Catégorie 1. <b>CIRC – IARC</b> Chromates et arséniates de plomb : Groupe 1 (1987). Dérivés organiques : Groupe 3 (en préparation). <b>US EPA (IRIS)</b> Non disponible.</p>	<p>NON</p> <p>OUI</p> <p>OUI (Tétraéthyl de plomb)</p>





Figure N° 116 L'entrée de la decharge urbaine.



La sortie des eaux polluées de l'oued Gouila de la décharge de Berka zega



Figure N° 117 Les eaux issues de la décharge se ruissellent vers la plaine d'Oued Zied .





Figure N° 117 Puits 11 juste à 70 m de la clôture de la décharge.