



**Faculté des Sciences de la Terre  
Département de Géologie**

**MEMOIRE**

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de

**MAGISTER**

***Analyse, approche de gestion et de réhabilitation  
des sites pollués de la région de Annaba, Nord-est  
algérien.***

**Option : Ingénierie des ressources hydriques**

**Par**

DJORFI Samir

**Soutenu devant le jury :**

**Directeur du mémoire :**

LARABA Abdelaziz

Maitre de Conférences **A**

UBM Annaba

**Président :**

- HANI Azzedine

Professeur

UBM Annaba

**Examineurs :**

- **CHAAB Salah**

Maitre de Conférences **A**

UBM Annaba

- **BENHAMZA Moussa**

Maitre de Conférences **A**

UBM Annaba

**Année : 2012**

## **DEDICACES**

Je dédie ce modeste travail à celui que je ne pourrais jamais remercier assez, à la mémoire de mon père.

A ma mère, je tiens à exprimer ma profonde gratitude et tous mes respects pour ses conseils, son affection et ses sacrifices.

A ma famille, comme simple témoignage de ma reconnaissance, pour l'immense effort qu'elle a fourni le long de mes études.

A tous mes amis.

A tous ceux qu'un jour profiteront de ce travail.

## Remerciements

Avant tout, je remercie le bon Dieu, comme je tiens à remercier toute personne ayant participé de près ou de loin à l'élaboration de ce présent mémoire et en particulier un très grand remerciement à mon promoteur **Dr. LARABA Abdelaziz**, pour son soutien moral et ses conseils judicieux.

J'adresse également mes sincères remerciements aux membres du jury  
qui ont accepté d'évaluer ce modeste travail :

**Pr. HANI A., Dr. CHAAB S. et Dr. BENHAMZA M.**

J'adresse aussi mes sincères remerciements à tous les enseignants et le personnel du  
Département de Géologie

Sans oublier toute ma famille pour son affection et son soutien moral et matériel.

## ملخص

قد أدى التطور الصناعي الكبير وارتفاع عدد السكان في سهل عنابة إلى زيادة في التصريف والنفايات مما أدى إلى تدهور البيئة ونوعية المياه السطحية والجوفية. وقد أبرزت الدراسة أنّ نوعية المياه السطحية والجوفية في القطاعات الأكثر تعرضاً للتلوث، في هذه الحالة وادي مبعوجة وسهل وادي زياد (بركة الزرقاء أنّ درجة التلوث بالمعادن تبدأ من المنبع وتتجه نحو المصب في.

تقييم المخاطر الصحية (EDR) باستخدام البرمجيات RISK4، تبين أنّ غالبية النقاط المدروسة تتميز بمؤشر خطر (RI) غير مقبول لكلا الفئتين من المجتمع (الأطفال والكبار). من أجل تحسين هذه الوضعية تمّ تحليل كل المعايير لتهيئة وتطوير المفرغة العمومية: البركة الزرقاء وذلك بإنشاء موقع مكب النفايات (CET). ويوصى أيضاً بإنشاء نظام تجميع وتصريف المياه ومعالجة النفايات الصناعية.

الكلمات الرئيسية:

التلوث، النفايات الصناعية، مفرغة عمومية، مياه الرشح، والمعادن الثقيلة، CET، عنابة، الجزائر.

## Abstract

The important industrial and demographic development in the plain of Annaba has resulted an increase in discharges inducing degradation of the environment and quality of surface and groundwater.

The study on the quality of surface and groundwater in the sectors most exposed to pollution, in this case the wadi Meboudja and the plain of the wadi Zied (Berka Zarga), has highlighted the presence of a gradient of metal contamination upstream-downstream. The health risk assessment (EDR) using software RISK4, shows that the majority of the points studied have a risk index (RI) unacceptable for both categories of society (children and adults). In order to improve this situation, an analysis of criteria for the development of the discharge of Berka Zarga and implementation of a Central Landfill site (CL) is conducted. It is also recommended to install a collector system, drainage and treatment of industrial waste.

**Keywords:** Pollution, Industrial Discharges, Public Discharge, Leachates, Heavy metals, ELS, Annaba, Algeria.

## Résumé

L'important développement industriel et démographique dans la plaine de Annaba s'est traduit par un accroissement des rejets induisant une dégradation de l'environnement et de la qualité des eaux superficielles et souterraines. L'étude effectuée sur la qualité des eaux superficielles et souterraines dans les secteurs, les plus exposés à la pollution, en l'occurrence l'oued Meboudja et la plaine de l'oued Zied (Berka Zarga), a permis de mettre en évidence la présence d'un gradient de contamination métallique amont-aval. L'évaluation du risque santé (EDR) à l'aide du logiciel RISK4, montre que la majorité des points étudiés présentent un indice du risque (IR) inacceptable pour les deux catégories de la société (enfant et adulte). Dans le but d'améliorer cette situation, une analyse des critères de l'aménagement de la décharge de Berka Zarga et la réalisation d'un CET est effectuée. Il est également recommandé d'installer un système de collecteurs, de drainage et de traitement des rejets industriels.

**Mots-clés:** Pollution, rejets industriels, Décharge publique, Lixiviats, Métaux lourds, CET, Annaba, Algérie.

## Liste des figures

|  |    |
|--|----|
| Fig. 01 : Situation géographique de la wilaya de Annaba.....                                     | 04 |
| Fig. 02. Situation géographique des secteurs étudiés.....  | 05 |
| Fig. 03 : Situation hydrographique de la zone d'étude.....                                       | 06 |
| Fig. 04. Carte d'occupation du sol par l'industrie et la décharge autour du lac Fetzara.....     | 12 |
| Fig. 05. Situation des sites de rejets dans l'oued Méboudja (Rejets urbains et industriels)..... | 13 |
| Fig. 07. Représentation graphique des besoins en eau selon les trois secteurs.....               | 15 |
| Fig. 08: Géomorphologie de la plaine de Annaba.....  | 19 |
| Fig. 09 : Extrait de la carte géologique de l'extrême Nord Est algérien.....                     | 23 |
| Fig. 10: Situation géologique et structurale des plaines de la région de Annaba-Bouteldja.....   | 24 |
| Fig. 11 : Coupe schématique du fossé d'effondrement de la basse plaine de la Seybouse...         | 25 |
| Fig. 12 : Histogramme des précipitations moyennes mensuelles de la station des Salines...        | 30 |
| Fig. 13 : Histogramme des précipitations moyennes mensuelles de la station de Pont Bouchet.....  | 30 |
| Fig. 14 : Histogramme des précipitations moyennes mensuelles de la station de Berrahal.....      | 30 |
| Fig. 15 : Diagramme du coefficient pluviométrique dans les trois stations de mesure.....         | 32 |
| Fig. 16 : Températures moyennes mensuelles de la station des Salines.....                        | 33 |
| Fig. 17 : Diagramme ombrothermique de la station des Salines (1978-2007).....                    | 34 |
| Fig.18 : Représentation graphique du bilan de Thornthwaite : Station des Salines.....            | 41 |
| Fig. 19 : Représentation graphique du bilan de Thornthwaite : Station de Pont Bouchet.....       | 42 |
| Fig. 20 : Représentation graphique du bilan de Thornthwaite : Station de Berrahal.....           | 42 |
| Fig. 21 : Situation, esquisse et coupe hydrogéologique de la plaine de Kherraza.....             | 49 |
| Fig. 22 : Situation, esquisse et coupe hydrogéologique de la basse Seybouse - Meboudja.....      | 50 |
| Fig. 23 : Carte d'inventaire des points d'eau dans le bassin de l'oued Méboudja.....             | 51 |

|   |    |
|---|----|
| Fig. 24 : Carte piézométrique dans le bassin de l'oued Méboudja Avril, 2008.....                  | 52 |
| Fig. 25 : Carte d'inventaire des points d'eaux dans la plaine de L'Oued Zied Mars, 2011..         | 53 |
| Fig. 26 : Carte piézométrique de la plaine de L'oued Zied, Mars, 2011.....                        | 54 |
| Fig. 27 : Contexte géologique et hydrogéologique du site industriel d'El Hadjar.....              | 58 |
| Fig. 28 : Carte d'inventaire des points de prélèvement, plaine Meboudja.....                      | 63 |
| Fig. 29 : Evolution des valeurs du chrome dans le sol.....  | 64 |
| Fig. 30. Evolution spatiale du pH des eaux de la plaine de la Méboudja.....                       | 67 |
| Fig. 31 : Evolution spatiale de la conductivité électrique des eaux plaine de la<br>Meboudja..... | 68 |
| Fig. 32: Variation spatiale du TDS des eaux de la plaine de la Méboudja.....                      | 68 |
| Fig. 33: Variation spatiale du TH des eaux de la plaine de la Méboudja.....                       | 69 |
| Fig. 34 : Evolution spatiale de la DBO <sub>5</sub> des eaux de la plaine de la Méboudja.....     | 71 |
| Fig. 35 : Carte de la DCO des eaux de la Méboudja.....  | 71 |
| Fig. 36 : Evolution du Cr des eaux de la plaine de la Meboudja.....                               | 72 |
| Fig. 37 : Evolution spatiale du Pb des eaux de la plaine de la Meboudja.....                      | 73 |
| Fig.38 : Evolution du Fer Total des eaux de la plaine de la Meboudja.....                         | 74 |
| Fig. 39 : Evolution spatiale du Cu des eaux de la plaine de la Meboudja.....                      | 75 |
| Fig. 40 : Evolution spatiale du Ni des eaux de la plaine de la Meboudja.....                      | 76 |
| Fig. 41: Situation géographique de la décharge de Annaba.....                                     | 77 |
| Fig. 42 : Carte d'inventaire des points d'eaux, plaine de l'oued Zied.....                        | 80 |
| Fig. 43. Carte des conductivités ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), Campagne de juin 2010.....          | 82 |
| Fig.44 : Carte des teneurs en Pb (mg/l), Campagne de juin 2010.....                               | 83 |
| Fig. 45: Carte des teneurs en Zn (mg/l), Campagne de juin 2010.....                               | 83 |
| Fig. 46 : Carte des teneurs en Cu (mg/l), Campagne de juin 2010.....                              | 84 |
| Fig. 47: Carte des teneurs en Cr (mg/l), Campagne de juin 2010.....                               | 85 |
| Fig. 48 : Carte des teneurs en Fe (mg/l), Campagne de juin 2010.....                              | 85 |
| Fig. 49. Carte des valeurs de la DBO <sub>5</sub> (mg/l), Campagne de juin 2010.....              | 86 |

|  |     |
|--|-----|
| Fig. 50. Localisation des points choisis pour l'étude des variations temporelles.....      | 86  |
| Fig. 51 : Variation temporelle des paramètres physiques dans la plaine et la décharge..... | 88  |
| Fig. 52 : Indice du risque total du Cr dans l'Oued Méboudja.....                           | 101 |
| Fig. 53 : Carte de L'IR du Cr pour l'enfant et l'adulte (Oued méboudja).....               | 101 |
| Fig. 54 : Indice du risque total du Cr dans la plaine de L'Oued Zied.....                  | 103 |
| Fig. 55 : Indice du Risque Cr pour l'Enfant, Plaine de l'oued Zied.....                    | 104 |
| Fig. 55' : Schéma d'aménagement d'un CET.....  | 111 |
| Fig. 56 : Succession de matériaux constituant l'aménagement de la base d'un CET.....       | 112 |
| Fig. 57 : Configuration du système de drainage des liquides.....                           | 113 |
| Fig. 58 : Différents Éléments Possibles de la Couverture Finale.....                       | 114 |
| Fig. 59 : Schéma de construction d'un puits de dégazage.....                               | 115 |

## Liste des tableaux

|   |    |
|---|----|
| Tableau.01 : Quelques caractéristiques de sous bassin versant du lac Fetzara.....           | 7  |
| Tableau.02 : Répartition de la population de la région d'Annaba.....                        | 9  |
| Tableau.03. Bilan de la production d'eau (m <sup>3</sup> /j).....                           | 13 |
| Tableau .04 : Coordonnées des stations météorologiques et période d'observation.....        | 28 |
| Tableau. 05 : Précipitations moyennes mensuelles en (mm) des trois stations.....            | 29 |
| Tableau .06 : Coefficient pluviométrique des stations étudiées (1978-2007                   | 31 |
| Tableau .07 : Températures moyennes mensuelles en °C à la station des Salines.....          | 33 |
| Tableau 08 : Vitesse du vent en (m/s) à la station des Salines (2002-2006).....             | 34 |
| Tableau 09 : L'humidité moyenne mensuelle en (%) à la station des Salines.....              | 35 |
| Tableau 10 : Résultats de l'ETP, form. de « Thornthwaite », Station des Salines.....        | 36 |
| Tableau 11 : Résultats de l'ETR, formule de « Turc » (1978-2007).....                       | 37 |
| Tableau 12: Ruissellement selon « Romantchouk » (1978-2007).....                            | 38 |
| Tableau 13 : Estimation de l'infiltration par l'équation du bilan hydrique.....             | 39 |
| Tableau 14 : Estimation de la RFU selon la formule de Hallaire.....                         | 39 |
| Tableau 15 : Bilan hydrique, selon « Thornthwaite » pour la station des Salines.....        | 40 |
| Tableau 16 : Bilan hydrique selon « Thornthwaite » pour la station de Pont Bouchet...       | 40 |
| Tableau 17 : Bilan hydrique : Mméthode de « Thornthwaite » pour la station de Berrahal..... | 41 |
| Tableau. 18 : Paramètres hydrodynamiques des aquifères de la plaine d'Annaba.....           | 49 |
| Tableau.19 : Types et quantité de rejets provenant de l'unité Arcelor Mittal Steel.....     | 60 |
| Tableau 20 : Inventaire des usines existant dan la région d'étude.....                      | 61 |
| Tableau.21 : Concentration du Chrome dans le sol (ppm).....                                 | 64 |
| Tableau. 22. Caractéristiques physico chimiques des eaux de la nappe superficielle.....     | 65 |
| Tableau.23 : Les lignes directrices de l'OMS sur la qualité de l'eau potable.....           | 65 |
| Tableau.24 : Normes algériennes des rejets.....   | 66 |
| Tableau. 25 : composition des déchets au niveau national.....                               | 78 |

|   |     |
|---|-----|
| Tableau. 26 : Comparaison des caractéristiques des déchets au niveau international.....     | 79  |
| Tableau. 27. Comparaison des normes de l’OMS et des Conc. des lix. et des eaux.....         | 81  |
| Tableau.28 : Indice du risque total pour l’usage des eaux de surface (plaine Méboudja)..... | 100 |
| Tableau. 29 : IR total pour l’usage des eaux souterraines (plaine d’oued Zied).....         | 102 |
| Tableau. 30. Résumé des Options de Réhabilitation.....                                      | 108 |
| Tableau. 31 : Critères de Sélection.....  | 108 |

# Sommaire

*Dédicace*

*Remerciements*

*Liste des tableaux*

*Liste des figures*

*Problématique*

## **Première Partie : Caractéristiques physico géographiques**

### **1<sup>er</sup> Chapitre : Aperçu géographique et économique**

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. Situation géographique.....</b>                             | <b>04</b> |
| 1.1 Situation de la zone d'étude.....                             | 04        |
| <b>2. Situation hydrographique.....</b>                           | <b>05</b> |
| 2.1. Le bassin Côtiers Constantinois Centre.....                  | 06        |
| 2.2. Le bassin de la Seybouse.....                                | 06        |
| 2.3. Le réseau Hydrographique.....                                | 06        |
| 2.3.1 Caractéristiques de sous bassin versant du lac Fetzara..... | 07        |
| 2.3.1.1 Oued Mellah.....  | 07        |
| 2.3.1.2 Oued El Hout.....   | 07        |
| 2.3.1.3 Oued Zied.....  | 07        |
| 2.3.1.4 Oued Bou Messous.....                                     | 07        |
| 2.3.2 l'oued Méboudja.....  | 08        |
| 2.3.3 L'oued Seybouse .....                                       | 08        |
| 2.3.4. L'oued Boudjemaâ.....                                      | 08        |
| 2.3.5. L'oued forcha.....   | 08        |
| 2.3.6 L'oued Sidi Harb.....                                       | 09        |
| 2.3.7 L'oued Bouhdid.....   | 09        |
| <b>3. Contexte socio-économique.....</b>                          | <b>09</b> |
| 3.1. Population.....  | 09        |

|  |           |
|--|-----------|
| 3.2. Agriculture.....                        | 11        |
| 3.3. L'industrie.....                        | 12        |
| <b>4. Ressources et besoins en eau.....</b>  | <b>13</b> |
| 4.1. Ressources en eau.....                  | 13        |
| 4.2. Besoin en eau.....                      | 14        |
| 4.2.1. Besoins en eau potable (AEP).....     | 14        |
| 4.2.2. Besoins en eau d'industrie (AEI)..... | 14        |
| 4.2.3. Besoins en eau d'irrigation.....      | 14        |
| <b>5. Conclusion.....</b>                    | <b>15</b> |

## 2<sup>ème</sup> Chapitre : Cadre géomorphologique et géologique

|                                       |           |
|---------------------------------------|-----------|
| <b>1. Cadre géomorphologique.....</b> | <b>17</b> |
| 1-1. Les bassins versants.....        | 17        |
| 1-1-1. La Mafragh.....                | 17        |
| 1-1-2. La Seybouse.....               | 17        |
| 1-2. Les terrasses.....               | 17        |
| 1-2-1. Basses terrasses.....          | 17        |
| 1-2-2. Moyennes terrasses.....        | 17        |
| 1-2-3. Hautes terrasses.....          | 17        |
| 1-3. Les massifs de bordures.....     | 18        |
| 1-4. Les marécages.....               | 18        |
| 1-5. La plaine.....                   | 18        |
| 1-6. Les plages.....                  | 18        |
| <b>2. Cadre géologique.....</b>       | <b>19</b> |
| 2-1. Stratigraphie.....               | 19        |

|   |           |
|---|-----------|
| 2-1-1. Formations sédimentaires.....            | 19        |
| 2.1.1.1. Le Quaternaire.....                    | 19        |
| 2-1-1-1-1. Le Quaternaire actuel.....           | 19        |
| 2-1-1-1-2. Le Quaternaire récent.....           | 19        |
| 2-1-1-1-3. Le Quaternaire moyen.....            | 19        |
| 2-1-1-1-4. Le Quaternaire ancien.....           | 20        |
| 2-1-1-2. Le Tertiaire.....                      | 20        |
| 2-1-1-2-1. Le Mio-Pliocène.....                 | 20        |
| 2-1-1-2-2. L'Oligocène.....                     | 20        |
| 2-1-1-2-3. L'Eocène inférieur.....              | 21        |
| 2-1-1-3. Le Secondaire.....                     | 21        |
| 2-1-1-3-1. La chaîne de Calcaire.....           | 21        |
| 2-1-1-3-2. Domaine des flyschs .....            | 21        |
| 2-1-2. Formations métamorphiques.....           | 21        |
| 2-1-2-1. L'unité supérieure.....                | 21        |
| 2-1-2-2. L'unité intermédiaire.....             | 22        |
| 2-1-2-3. L'unité inférieure (ou de base).....   | 22        |
| 2-2. Tectonique.....                            | 23        |
| 2-2-1. Les unités tectoniques.....              | 24        |
| 2-2-1-1. Le socle de l'Edough.....              | 24        |
| 2-2-1-2. Série de flyschs d'âge Eocène.....     | 24        |
| 2-2-1-3. Mio-Pliocène.....                      | 25        |
| 2-2-2. Effondrement de la plaine de Annaba..... | 25        |
| <b>3. Conclusion.....</b>                       | <b>26</b> |

### **3eme Chapitre : Etude hydroclimatologique**

|                             |           |
|-----------------------------|-----------|
| <b>1. Introduction.....</b> | <b>28</b> |
|-----------------------------|-----------|

|   |    |
|---|----|
| <b>2. Stations de mesures</b> .....                     | 28 |
| <b>3. Facteurs climatiques</b> .....                    | 29 |
| 3.1. Précipitations.....                                | 29 |
| 3.1.1. Représentation mensuelle des précipitations..... | 29 |
| 3.1.2. Coefficient pluviométrique (CP).....             | 31 |
| 3.1.3. Température.....                                 | 32 |
| 3-1-4. Diagramme ombrothermique (pluviothermique).....  | 33 |
| 3.1.5. Le vent.....                                     | 34 |
| 3.1.6. L'humidité.....                                  | 34 |
| <b>4. Bilan hydrique</b> .....                          | 35 |
| 4.1. Evapotranspiration.....                            | 35 |
| 4.1.1. Evapotranspiration potentielle (ETP).....        | 35 |
| 4.1.2. Evapotranspiration réelle (ETR).....             | 36 |
| 4.2. Ruissellement (R).....                             | 37 |
| 4.3. Infiltration (I).....                              | 38 |
| 4.4. Bilan hydrique selon Thornthwaite.....             | 39 |
| 4.4.1. Représentation graphique du bilan hydrique.....  | 41 |
| 4.4.2. Interprétation du bilan hydrique.....            | 42 |
| <b>5. Conclusion</b> .....                              | 44 |

#### **4<sup>eme</sup> Chapitre : Caractéristiques hydrogéologiques**

|  |    |
|--|----|
| <b>1. Introduction</b> .....                         | 47 |
| <b>2. Description des différents aquifères</b> ..... | 47 |
| 2.1. Aquifère superficiel.....                       | 47 |
| 2.1.1. Nappe des gneiss altérés.....                 | 48 |
| 2.1.2. Nappe du cordon dunaire.....                  | 48 |
| 2.1.3. Nappe des cailloutis des terrasses.....       | 48 |

|  |           |
|--|-----------|
| 2.1.4. Nappe des alluvions récentes et actuelles.....        | 48        |
| 2.2. Aquifère profond.....                                   | 48        |
| 2.2.1. Nappe des cipolins.....                               | 48        |
| 2.2.2. Nappe des graviers.....                               | 49        |
| <b>3. La piézométrie.....</b>                                | <b>50</b> |
| 3.1. La plaine de l'oued Méboudja.....                       | 51        |
| 3.2. La plaine de l'oued Zied - décharge de Berka Zerga..... | 52        |
| <b>4. Conclusion.....</b>                                    | <b>54</b> |

## **2eme Partie : Diagnostic de la pollution et Approche d'aménagement et de réhabilitation**

### **5<sup>eme</sup> chapitre : Diagnostic de la pollution**

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. Introduction.....</b>  | <b>57</b> |
| <b>2. Plaine de l'oued Meboudja.....</b>                             | <b>57</b> |
| 2.1. Présentation du complexe Arcelor Mittal Steel.....              | 57        |
| 2.1.1 Activité du complexe.....                                      | 59        |
| 2.1.2. Les rejets du complexe sidérurgique Arcelor Mittal steel..... | 59        |
| 2.2. Zones industrielles Meboudja et Pont Bouchet.....               | 61        |
| 2.3. Pollution des eaux et des sols.....                             | 62        |
| 2.3.1. Inventaire des points de prélèvement.....                     | 62        |
| 2.3.2. Pollution des sols.....                                       | 63        |
| 2.3.3. Pollution des eaux.....                                       | 64        |
| 2.4. Interprétation des résultats.....                               | 65        |
| 2.4.1. La température des eaux.....                                  | 66        |
| 2.4.2. Le pH.....  | 66        |
| 2.4.3. La conductivité électrique (CE).....                          | 67        |
| 2.4.4. Solide total dissous (TDS).....                               | 68        |
| 2.4.5. La dureté totale (TH).....                                    | 69        |

|   |           |
|---|-----------|
| 2.4.6. La DBO <sub>5</sub> .....                                  | 69        |
| 2.4.7. Demande Chimique en Oxygène (DCO).....                     | 71        |
| 2.4.8. Les métaux lourds.....                                     | 72        |
| 2.4.8.1. Le Chrome (Cr).....                                      | 72        |
| 2.4.8.2. Le Plomb (Pb).....                                       | 72        |
| 2.4.8.3. Le Fer total (Fe. Total).....                            | 73        |
| 2.4.8.4. Le Cuivre (Cu).....                                      | 74        |
| 2.4.8.5. Le Nickel (Ni).....                                      | 75        |
| 2.5. Conclusion.....  | 76        |
| <b>3. Plaine de l'oued Zied – la décharge de Berka Zarga.....</b> | <b>76</b> |
| 3.1. Présentation de la décharge de Berka Zarga.....              | 76        |
| 3.2. Caractérisation des rejets de la décharge.....               | 77        |
| 3.2.1. Nature des déchets.....                                    | 77        |
| 3.3. Pollution des eaux.....                                      | 79        |
| 3.3.1. Echantillonnage et méthodes d'analyses.....                | 79        |
| 3.4. Résultats et interprétation.....                             | 80        |
| 3.4.1. La température.....  | 81        |
| 3.4.2. Le pH.....   | 81        |
| 3.4.3. La conductivité électrique (CE).....                       | 81        |
| 3.4.4. Les métaux lourds.....                                     | 82        |
| 3.4.4.1. Le Plomb.....  | 82        |
| 3.4.4.2. Le Zinc.....   | 83        |
| 3.4.4.4. Le Cuivre.....   | 84        |
| 3.4.4.4. Le Chrome.....   | 84        |
| 3.4.4.5. Le Fer.....  | 85        |
| 3.4.5. La DBO <sub>5</sub> .....                                  | 85        |
| 3.5. Evolution spatiotemporelle de la pollution.....              | 86        |

|                                       |           |
|---------------------------------------|-----------|
| 3.6. Conclusion.....                  | 88        |
| <b>4. Conclusion du chapitre.....</b> | <b>89</b> |

## **6<sup>ème</sup> Chapitre : EDR Santé et approche d'aménagement et de réhabilitation**

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. Introduction.....</b>                                     | <b>92</b> |
| <b>2. Evaluation du risque (EDR) sur la santé humaine.....</b>  | <b>92</b> |
| 2.1. La toxicité des métaux lourds.....                         | 93        |
| 2.1.1. Le Chrome (Cr).....                                      | 93        |
| 2.1.1.1. Impact sur l'environnement.....                        | 93        |
| 2.1.1.2. Impact sur la santé.....                               | 94        |
| 2.1.2. Le Plomb (Pb).....                                       | 94        |
| 2.1.2.1. Impact sur l'environnement.....                        | 94        |
| 2.1.2.2. Impact sur la santé.....                               | 94        |
| 2.1.3. Le Fer total (Fe. Total).....                            | 95        |
| 2.1.3.1. Impact sur l'environnement.....                        | 95        |
| 2.1.3.2. Impact sur la santé.....                               | 95        |
| 2.1.4. Le Cuivre (Cu).....                                      | 95        |
| 2.1.4.1. Impact sur l'environnement.....                        | 95        |
| 2.1.4.2. Impact sur la santé.....                               | 96        |
| 2.1.5. Le Nickel (Ni).....                                      | 96        |
| 2.1.5.1. Impact sur l'environnement.....                        | 96        |
| 2.1.5.2. Impact sur la santé.....                               | 96        |
| 2.1.6. Le Zinc (Zn).....  | 96        |
| 2.1.6.1. Impact sur l'environnement.....                        | 97        |
| 2.1.6.2. Impact sur la santé.....                               | 97        |
| 2.2. Evaluation des risques des métaux lourds sur la santé..... | 97        |
| 2.2.1. Définition des concentrations d'exposition.....          | 97        |

|   |            |
|---|------------|
| 2.2.2. Estimation des doses d'exposition .....  | 97         |
| 2.2.2.1. Dose journalière d'exposition (DJE) .....  | 98         |
| 2.2.2.2. DJE pour le contact dermique avec le sol .....   | 98         |
| 2.2.2.3. Dose journalière acceptable (DJA) .....  | 99         |
| 2.2.3. Estimation du risque.....  | 99         |
| 2.2.3.1. Estimation du risque non cancérigène.....  | 99         |
| 2.2.3.2. Estimation du risque cancérigène.....  | 99         |
| 2.2.4. Application numérique.....   | 99         |
| 2.2.4.1. Plaine de l'oued Meboudja.....   | 100        |
| 2.2.4.2. Plaine de l'oued Zied.....   | 101        |
| 2.3. Conclusion.....  | 104        |
| <b>3. Développement d'un Plan de Réhabilitation. Cas de la Décharge<br/>de Berka Zarga.....</b> | <b>105</b> |
| 3.1. Etat des lieux .....   | 105        |
| 3.2. Objectif.....  | 105        |
| 3.2.1. Phase I : Rappel du Diagnostic Environnemental.....                                      | 105        |
| 3.2.2. Phases II et III : Identification de la solution optimale.....                           | 106        |
| 3.2.2.1. Description générale des options de réhabilitation.....                                | 106        |
| 3.2.2.1.1. Maintien du Statu Quo.....   | 107        |
| 3.2.2.1.2. Réhabilitation de la Décharge Hors Site.....   | 107        |
| 3.3. Résumé des Options de Réhabilitation.....  | 108        |
| 3.4. Sélection de l'option optimale.....  | 108        |
| 3.4.1. Critères de Sélection.....   | 108        |

|   |            |
|---|------------|
| 3.4.2. Évaluation des Options.....                                  | 109        |
| 3.4.2.1. Faisabilité Légale.....                                    | 109        |
| 3.4.2.2. Protection de l’Environnement et de la Santé Publique..... | 109        |
| 3.4.2.3. Efficacité à Long Terme.....                               | 109        |
| 3.4.2.4. Risques à Court Terme.....                                 | 110        |
| 3.4.3. Choix de l’Option Optimale.....                              | 110        |
| <b>4. Conception de solution retenue.....</b>                       | <b>110</b> |
| 4.1. La base du CET.....  | 111        |
| 4.2. La couverture finale.....                                      | 113        |
| 4.2.1. Éléments Principaux .....                                    | 113        |
| 4.2.2. La Couche de Collecte de Biogaz.....                         | 114        |
| 4.2.3. Les Géotextiles.....   | 115        |
| 4.2.4. La Couche Argileuse.....                                     | 115        |
| 4.2.5. La Géomembrane.....  | 115        |
| 4.2.6. La Couche de Drainage de l’Eau.....                          | 116        |
| 4.2.7. Les Couches de Sol Supérieures.....                          | 116        |
| 4.2.8. Gestion des Lixiviats.....                                   | 116        |
| 4.2.9. Aménagements auxiliaires.....                                | 116        |
| 5. Conclusion.....  | 117        |
| Conclusion générale.....  | 118        |
| Références bibliographiques.....                                    | 121        |

## PROBLEMATIQUE DU SUJET

En Algérie, la prise de conscience de l'importance des ressources naturelles ne date que de quelques années. Le pays a décidé enfin d'investir dans le développement durable. Ceci constitue le principe fondamental de la stratégie de l'environnement et signifie que l'Algérie entend donner une place prépondérante aux aspects sociaux et écologiques dans ses choix de modèles de société et de développement économique, et rompre par conséquent de manière irréversible avec les politiques et méthodes anciennes. La politique nationale de gestion des sites pollués (décharges sauvages, effluents industriels et urbains, dépôts de déchets ou de produits chimiques) mise en place prend en compte les conséquences du développement industriel qu'a connu l'Algérie durant les quatre dernières décennies.

La région d'Annaba, située à l'extrême Est du pays, que nous étudions dans le cadre de ce projet a fait l'objet, durant ces dernières années, de nombreux travaux d'expertise et de recherche (Hani A., 2004, Foufou A. 2007, Djorfi S. 2010, Majour H. 2010). Les résultats de ces travaux ont mis en relief l'influence directe des sites pollués sur la dégradation de la qualité de l'environnement et des ressources naturelles (sol, eau, air,...).

**Les rejets des unités industrielles** situées sur l'axe reliant El-Hadjar à Annaba montrent de très fortes concentrations en éléments chimiques potentiellement nuisibles et qui ont pour corollaire une dégradation de la qualité des eaux superficielles de la Seybouse, une détérioration des eaux de baignade et des impacts négatifs sur la faune et la flore.

Le stockage des déchets industriels, au niveau du complexe sidérurgique d'El-Hadjar, directement sur le sol a provoqué une contamination des eaux superficielles et souterraines par plusieurs métaux lourds, notamment le chrome et l'étain.

**Les rejets d'origines urbaines et industrielles au niveau de la décharge** de la ville de Annaba, montrent une forte pollution véhiculée par les eaux et une dégradation qualitative des eaux souterraines, surtout dans les secteurs situés à l'aval hydraulique de la décharge en relation avec des écosystèmes très fragiles (lac Fetzara).

Les résultats tirés de ces deux exemples démontrent clairement que les ressources hydriques, dans cette région, sont menacées par la pollution ce qui affecte :

- la santé et la qualité de vie de la population,
- la productivité et la durabilité du capital naturel,
- l'environnement global.

La gestion de ces sites est donc indispensable et requiert des compétences approfondies et pluridisciplinaires afin de mettre en relief le danger environnemental qu'ils représentent et de répondre aux questions d'urgence. L'établissement, donc, d'une stratégie responsable en matière de Sites et Sols pollués, en vue de leur réhabilitation, s'avère indispensable.

### **Objectif du projet**

La stratégie de réaménagement et de réhabilitation doit prendre en charge les étapes de recherches et d'investigation suivantes :

- Identifier les différents types de risques qui peuvent découler de la pollution,
- Quantifier ces risques,
- Définir les objectifs de réhabilitation pour les usages actuels ou un autre usage du site et de son environnement,
- Déterminer les actions qui vont réduire le risque pour le rendre acceptable : la stratégie de réhabilitation.

L'évaluation de l'impact, sur la base d'une quantification des risques, s'appuie sur un diagnostic approfondi de la pollution : caractéristiques, extension, compréhension des mécanismes de transfert, évaluation éventuelle des impacts. A cet effet, des informations sur les sources, les voies d'exposition et les cibles sont collectées.

Ainsi, dans cette étude nous allons essayer de faire le point sur l'état de la pollution des eaux de la région à travers les trois parties suivantes :

- Dans la **première partie**, nous analyserons le contexte général de la région d'étude sous différents points de vue : physico géographique, hydro climatologique et géologique. Nous évoquerons également dans la même partie les caractéristiques géométriques et hydrodynamiques des nappes.
- Dans la **deuxième partie**, nous essayerons, dans un premier volet, de définir les caractéristiques hydro chimiques des eaux et de mettre en relief la présence de pollution en relation avec les sites étudiés.

Le deuxième volet sera consacré à l'évaluation du **risque santé** (selon les différents scénarii) et à l'extension spatiale de ces risques. Dans ce volet, nous essayerons, également, de proposer une stratégie de réaménagement et de réhabilitation du site représentant une menace réelle pour l'homme et l'environnement, en l'occurrence, la décharge de Berka Zarga.

# **1<sup>er</sup> Chapitre**

## **Aperçu géographique et économique**

## 1<sup>er</sup> Chapitre : Aperçu géographique et économique

### 1. Situation géographique

La wilaya d'Annaba appelée capitale industrielle de l'Est Algérien, est située entre les latitudes 36°30' Nord et 37°03' et longitudes 7°20' Est et 8°40' Est. D'une superficie de 1411.98 Km<sup>2</sup>. Annaba est bordée au Nord par la mer méditerranée, à l'Ouest par la wilaya de Skikda, au Sud et à l'Est par les wilayas de Guelma et d'El Tarf (fig. 01).

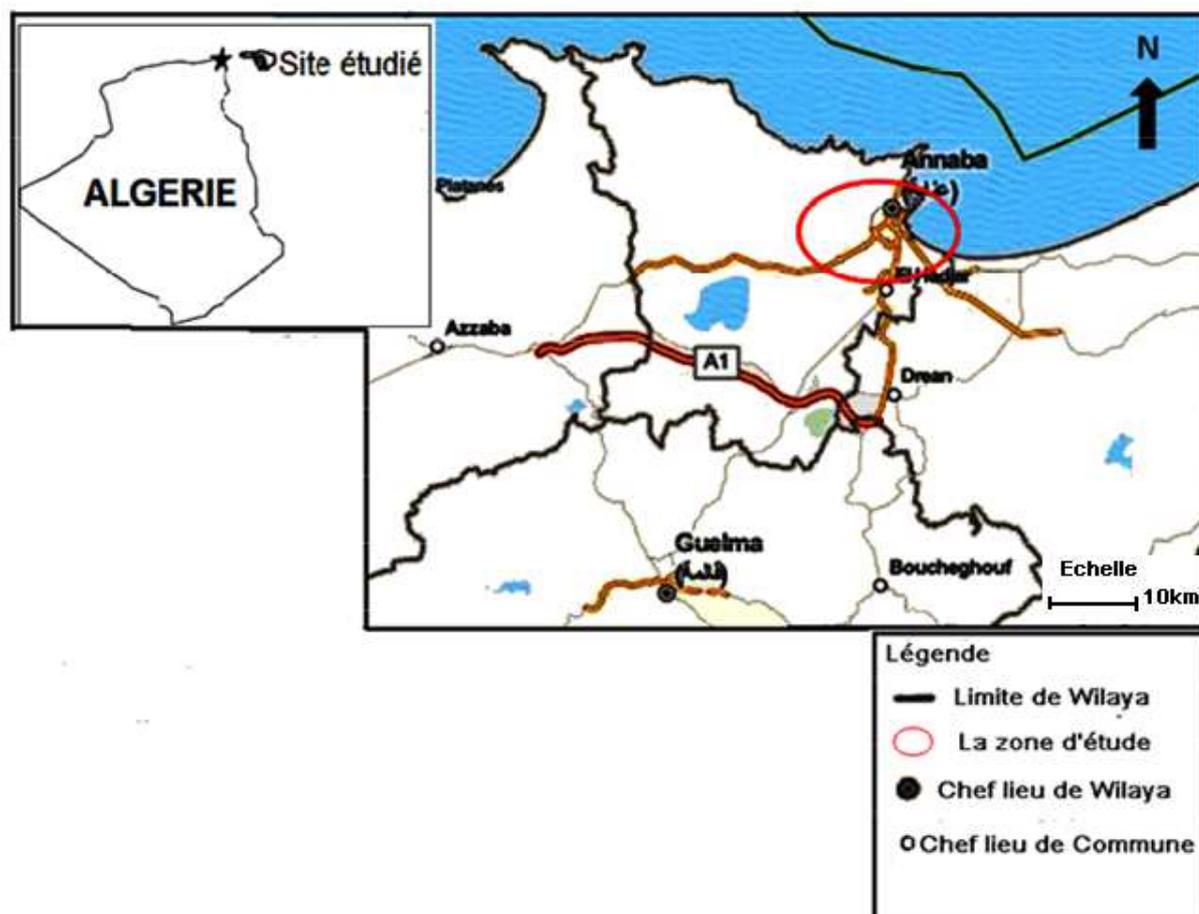


Figure 01 : Situation géographique de la wilaya de Annaba

## 1.1. Situation de la zone d'étude

La zone d'étude est située dans la basse plaine de la Seybouse qui appartient au système aquifère Annaba-Bouteldja et dans le sous bassin versant du lac Fetzara, ses limites naturelles sont (Fig. 02)



Fig.02. Situation géographique des secteurs étudiés

Au Nord : la mer méditerranéenne et le massif de l'Edough ;

A l'Ouest et au sud ouest: le prolongement occidental du massif de l'Edough et la dépression du lac Fetzara ;

Au Sud : la chaîne numidique orientale (1411m) ;

Enfin à l'Est : Le prolongement oriental du système aquifère Annaba-Bouteldja.

## 2. Situation hydrographique

La zone d'étude se trouve à cheval entre le bassin versant côtiers constantinois centre et celui de la Seybouse (Fig.03).

### 2.1. Le bassin Côtiers Constantinois Centre

Le BV côtiers constantinois centre occupe une Superficie de l'ordre de 5582 Km<sup>2</sup>, soit 48.5% de la superficie totale du bassin Côtiers Constantinois. On y recense 886240 habitants (1998), répartis sur 58 communes et 05 wilayas.

### 2.2. Le bassin de la Seybouse

Le bassin versant de la Seybouse draine une superficie de 6471 Km<sup>2</sup>. On y recense 13000 00 habitants, répartis en soixante huit (68) communes, et sept (07) wilayas. Trente trois (33) communes sont entièrement incluses dans le bassin et trente cinq (35) partiellement. La seule agglomération d'Annaba représente dix huit pour cent (18%) de la population totale du bassin.

Les deux bassins se caractérisent par une agriculture traditionnelle et moderne, les cultures maraîchères, l'irrigation mixte, les céréales et l'arboriculture. L'industrie est concentré autour des agglomérations principales : Annaba (Arcelor-Mittall) Skikda (Sonatrach), Azzaba et Berrahal.



Figure 03 : Situation hydrographique de la zone d'étude

### 2.3. Le réseau Hydrographique

La zone est principalement drainée par les oueds débouchant dans le lac Fetzara (tab. 01)

et ceux du versant sud Est du massif de l'Edough. La partie orientale est drainée par l'oued Seybouse.

**Tableau. 01 : Quelques caractéristiques de sous bassin versant du lac Fetzara.**

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

### **2.3.1 Caractéristiques de sous bassin versant du lac Fetzara**

Le réseau hydrographique du sous bassin est constitué des oueds :

#### **2.3.1.1 Oued Mellah**

Il prend sa source aux alentours de l'oued El Kebir Ouest, d'une longueur à peu près de 08 Km ; il draine une surface de 47 Km<sup>2</sup>. De direction Sud Ouest - Nord Est, il débouche au canal d'assèchement au contact du lac Fetzara.

#### **2.3.1.2 Oued El Hout**

C'est le plus long cours d'eau qui alimente le lac Fetzara (10 Km de longueur), il s'écoule du Sud vers le Nord et draine une surface de 81 Km<sup>2</sup>.

#### **2.3.1.3 Oued Zied**

Il prend sa source à Kef Sebâ, la direction de l'écoulement est du Nord vers le Sud Ouest sur une longueur d'environ 10.5 Km, il draine une surface de 19 Km<sup>2</sup>.

#### **2.3.1.4 Oued Bou Messous**

Il a une longueur de 09 Km, il s'écoule de Sud vers le Nord.

Tous ces oueds se collectent au niveau du lac Fetzara, ils sont caractérisés par un régime très irrégulier, torrentiel en hiver et sec en été.

Le drainage du lac Fetzara est effectué tout au long de l'année quelque soit le débit par le canal principal d'assèchement qui constitue le prolongement occidental de l'oued Meboudja, l'eau est évacuée vers la basse plaine de la Seybouse (l'extrême Est de la zone d'étude).

### **2.3.2. L'oued Méboudja**

Le collecteur intermédiaire entre le lac Fetzara et l'oued Seybouse. Il draine une superficie de 203 km<sup>2</sup> et constitue le collecteur des eaux du bassin versant du lac Fetzara d'une superficie de 515 km<sup>2</sup> et du bassin versant de l'oued Ressoul, avec un maximum de 20 m<sup>3</sup>/s. Il présente une crue quinquennale de 20m<sup>3</sup>/s (Bounouna et al, 1986).

La Méboudja rejoint oued Seybouse à environ 8 kilomètres de l'embouchure. Le débit de l'oued est moins important que celui de l'oued Seybouse. Une estimation de son débit par jaugeage au flotteur pendant la période de Février - Décembre 1999 a donné des valeurs ne dépassant pas les 20 m<sup>3</sup>/s ; ces mesures ont permis de mettre en évidence une relation entre les précipitations et les débits, car les forts débits enregistrés correspondent à la saison humide (forte pluie) alors que les faibles débits correspondent aux faibles précipitations.

### **2.3.3 L'oued Seybouse**

C'est le second oued d'Algérie après l'oued Chéelif, il se situe au Nord-Est de l'Algérie, il s'étend vers le Sud jusqu'à la fin de l'Atlas Saharien d'où il prend naissance dans les hautes plaines de Heracta, et des Sellaoua sur une hauteur de 800 à 1000 mètres, se dirigeant vers le Nord pour se terminer dans la plaine littorale de Annaba et se jeter finalement dans la mer Méditerranée. Il s'étend sur une distance de 240Km passant par les territoires de la wilaya de Souk Ahras, Guelma, Annaba et El-taraf. L'Oued Seybouse déversant dans la mer jusqu' à 5 000 000m<sup>3</sup> /an, présente l'axe de drainage d'un bassin versant de 6471 km<sup>2</sup>.

La partie Nord Ouest dans les alentours de la plaine de kharreza est drainée par quatre oueds principaux:

### **2.3.4. L'oued Boudjemaâ**

C'est le principal oued, il coule sur une topographie plane de la plaine de kherraza marquée par plusieurs affluents. L'ensemble est situé dans un bassin versant de 4.685 ha.

### **2.3.5. L'oued forcha**

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

### **2.3.6 L'oued Sidi Harb**

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

### **2.3.7 L'oued Bouhdid**

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

## **3. Contexte socio-économique**

### **3.1. Population**

D'après le service communal-recensement 2008 et la direction de planification et d'aménagement du territoire de la wilaya de Annaba), (tab. 02).

**Tableau. 02 : Répartition de la population de la région d'Annaba (Source ONS 2008).**

| <b>Commune</b>      | <b>Cités</b>  | <b>Estimation 2008</b> |
|---------------------|---|------------------------|
| <b>Annaba</b>       |   | 233927                 |
| <b>Oued El-Aneb</b> | Laïb Amar, Oued Zied 1,<br>Zone éparsé  | 21000                  |
| <b>El-Hadjar</b>    | El-Kerma, Houraïcha, Sainte<br>Marie, El-Hadjar, Zone<br>éparsé                                       | 38436                  |
| <b>Sidi Amar</b>    | Sidi Amar, Hadjar-Eddiss,<br>Derradji Redjem, Bergouga,<br>Derradji Redjem, El-Gantra,<br>Zone éparsé | 80292                  |
| <b>El-Eulma</b>     | El-Eulma, El-Hashassia,<br>Sidi-Hamed, Zone éparsé  | 10463                  |
| <b>Cheurfa</b>      | Cheurfa, Azizi Ahmed, Zone  | 9883                   |

|                 |   |        |
|-----------------|---|--------|
|                 | éparse                                    |        |
| <b>El-Bouni</b> | Oued Zied 2, El-Bouni, Zone éparse        | 130568 |
| <b>Berrahal</b> | Guerch, Kalitoussa, Berrahal, Zone éparse | 22278  |
| <b>Seraïdi</b>  |   | 7451   |
| <b>Treat</b>    |   | 6066   |
| <b>Chetaïbi</b> |   | 8003   |
| <b>Total</b>    |   | 588693 |

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

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

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

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

➤ ***Zone faiblement peuplée***

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

➤ ***Zone moyennement peuplée***

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

### ➤ *Zone fortement peuplée*

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

## **3.2. Agriculture**

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

### *Les cultures céréalières*

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

### *Les cultures industrielles*

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

### *Les cultures maraîchers et les légumes secs*

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

### *L'arboriculture*

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

### *Les terrains incultes*

Ils occupent une grande superficie surtout dans la région de Lac Fetzara. La plupart de ces terrains incultes sont des terrains inondés pendant la pluie. Au niveau de la plaine, la région dans son ensemble est vouée aux céréales et à la tomate industrielle. Après les mois humides, en juin, le paysage prend un aspect désertique.

### Les terrains nus

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

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

### 3.3. L'industrie

Elle occupe dans la région une place importante, elle se positionne surtout en bordures du lac Fetzara, de l'oued Méboudja et de la Seybouse (fig. 04 et 05), on y trouve :

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

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

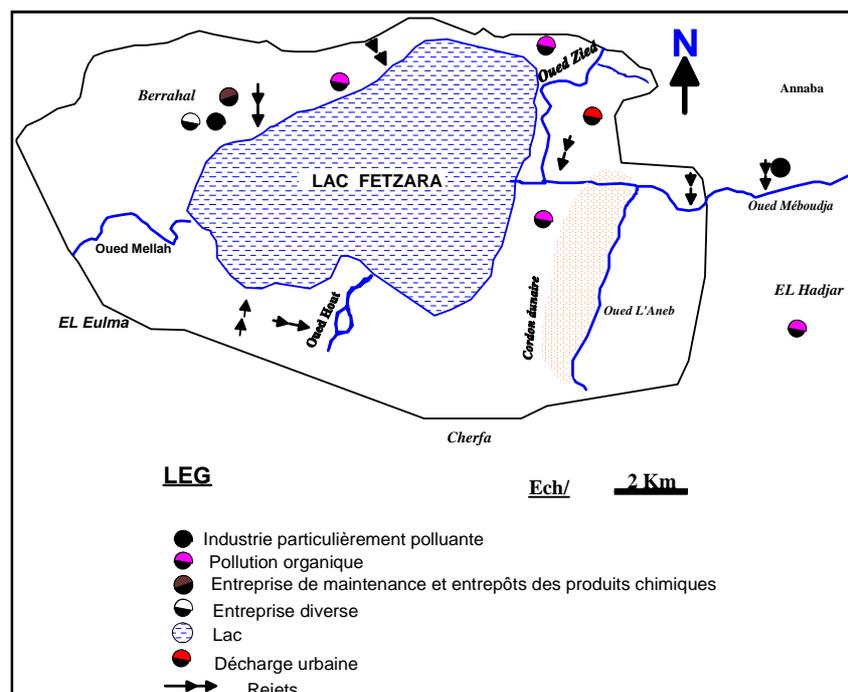
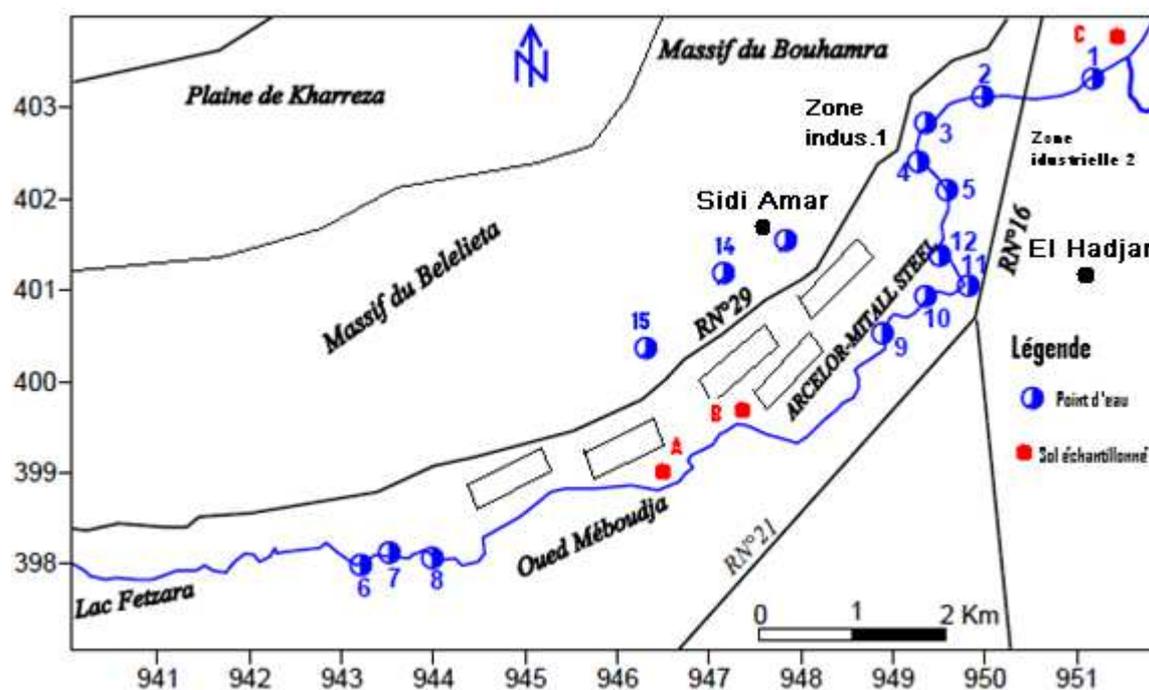


Fig.04 : Carte d'Occupation du Sol autour du lac Fetzara (in Lekoui S, 2011).



**Fig. 05 : Situation des sites de rejets dans l'oued Méboudja**

(1, 2... ; Rejets urbains et industriels)

#### 4. Ressources et besoins en eau

##### 4.1. Ressources en eau

La ville d'Annaba est alimentée par la combinaison de ressources superficielles à partir des barrages de Cheffia et de Mexa et de ressources souterraines provenant des champs de captage de Bouteldja, Salines et Pont Bouchet (tab. 03).

**Tableau. 03 : Bilan de la production d'eau (m<sup>3</sup>/j). Source : SEATA (Société de l'Eau et l'Assainissement de Tarf et Annaba).**

| Ressources          | Soutirages     | Affectation    |               |              |
|---------------------|----------------|----------------|---------------|--------------|
|                     |                | Annaba         | El Tarf       | Ispat        |
| Barrage Cheffia     | 130 000        | 90 000         | 10 000        | 30 000       |
| Barrage Mexa        | 55 000         | 28 000         | 27 000        |              |
| Nappe Bouteldja     | 36 000         | 20 100         | 15 900        |              |
| Nappe Salines       | 7 000          | 7 000          |               |              |
| Nappe Pont Bouchet  | 1 000          | 1 000          |               |              |
| <b>Total (m3/j)</b> | <b>229 000</b> | <b>146 100</b> | <b>52 900</b> | <b>30000</b> |

Le barrage Cheffia, d'un volume régularisable de 95 HMm<sup>3</sup>/an, assure l'alimentation en eau d'Annaba et l'irrigation du périmètre Bounamoussa (16500ha). En période normale, en dehors des cycles de sécheresse, cet ouvrage permet la mobilisation de 45Hm<sup>3</sup>/an pour Annaba. Le barrage Mexa, d'un volume régularisable de 44Hm<sup>3</sup>/an, assure l'alimentation de la wilaya d'El Tarf et de la willaya d'Annaba .cet ouvrage permet la mobilisation de 16 million de m<sup>3</sup>/an pour Annaba.

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

## **4.2. Besoin en eau**

En fonction de l'accroissement démographique et du développement de l'industrie et de l'agriculture, les besoins en eau dans les divers secteurs de consommation (domestique, industriel et agricole), s'accroissent de jour en jour (fig. 07). Ils sont Globalement estimés à près de 200 l / j / hab.

### **4.2.1. Besoins en eau potable (AEP)**

Les besoins en eau domestiques représentent environ 52 % de l'ensemble des besoins. Cela est dû au développement démographique considérable (58869 hab.).

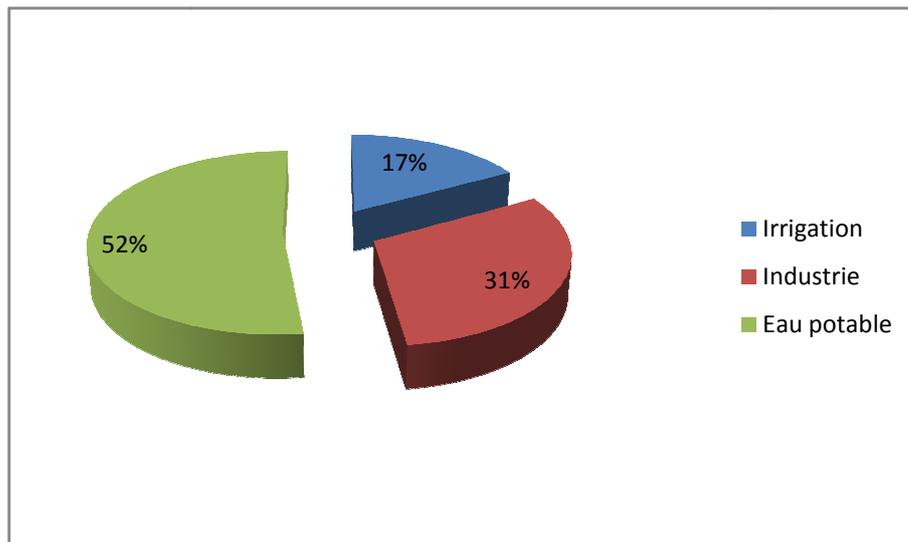
La dotation moyenne est de 140 l / j / hab. dont la moyenne nationale est de 150 l / j / hab.

### **4.2.2. Besoins en eau d'industrie (AEI)**

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

### **4.2.3. Besoins en eau d'irrigation**

Comme il est figuré dans le diagramme ci-dessous (fig.07), les besoins en eau d'irrigation sont de l'ordre de 17 %.



**Fig. 07 : Représentation graphique des besoins en eau selon les trois secteurs**

## **5. Conclusion**

La plaine de Annaba a connu ces dernières années, de grands bouleversements environnementaux. En effet, le développement industriel et urbain dans La plaine a induit l'augmentation des rejets et l'apparition de décharges « sauvages » à travers tout le territoire de la plaine. Ce qui a provoqué plusieurs cas de pollution au niveau des eaux de surface et souterraines. La mauvaise gestion de ces sites a conduit, donc, à la dégradation de la qualité de la vie et de l'environnement global.

## **2<sup>ème</sup> CHAPITRE**

# **CADRE GEOMORPHOLOGIQUE ET GEOLOGIQUE**

## **2eme Chapitre : Cadre géomorphologique et géologique**

### **1. Cadre géomorphologique**

La zone d'étude fait partie de la plaine de Annaba qui est caractérisée par diverses unités géomorphologiques dont les formations quaternaires sont les plus dominantes formant ainsi le siège des nappes aquifères (fig.08).

Les principales unités géomorphologiques sont :

#### **1-1. Les bassins versants**

La région de Annaba se caractérise par deux bassins versants :

##### **1-1-1. La Mafragh**

Il occupe la partie Est avec une superficie de l'ordre de 2915 km<sup>2</sup> et une altitude de 319m.

##### **1-1-2. La Seybouse**

Se trouve à l'extrémité Ouest et s'étend sur une superficie de 6471 km<sup>2</sup>, il renferme divers milieux naturels ce qui conduit à la diversification et la multitude des chemins de nutrition et de ruissellement.

#### **1-2. Les terrasses**

Allant d'Ouest vers l'Est, elles et présentent trois niveaux bien distincts :

##### **1-2-1. Basses terrasses**

Elles atteignent environ 15m d'altitude et sont formées de dépôts alluvionnaires constitués d'un matériel argilo-limoneux avec des galets ; graviers et sables. Ce sont des formations accumulatives d'eaux souterraines.

##### **1-2-2. Moyennes terrasses**

Situées à des altitudes oscillant entre 20 et 50m dans la région de Dréan, elles sont formées de galets, de graviers et surtout d'argiles sableuses dépourvues d'horizons aquifères.

##### **1-2-3. Hautes terrasses**

Se trouvant à des altitudes de 100 à 150m, elles sont formées entièrement de formations argileuses pratiquement imperméables et ne présentant aucun intérêt hydrogéologique. Elles se localisent surtout entre Dréan et Aïn-Berda.

### **1-3. Les massifs de bordures**

Constitués de roches métamorphiques (micaschistes ; gneiss et cipolins) au Nord-Ouest et de grès numidiens au Sud (monts de la Chaffia). Le massif dunaire, situé au Nord parallèlement à la mer, constitue un important réservoir d'eaux souterraines, l'infiltration et la perméabilité y sont très importantes.

### **1-4. Les marécages**

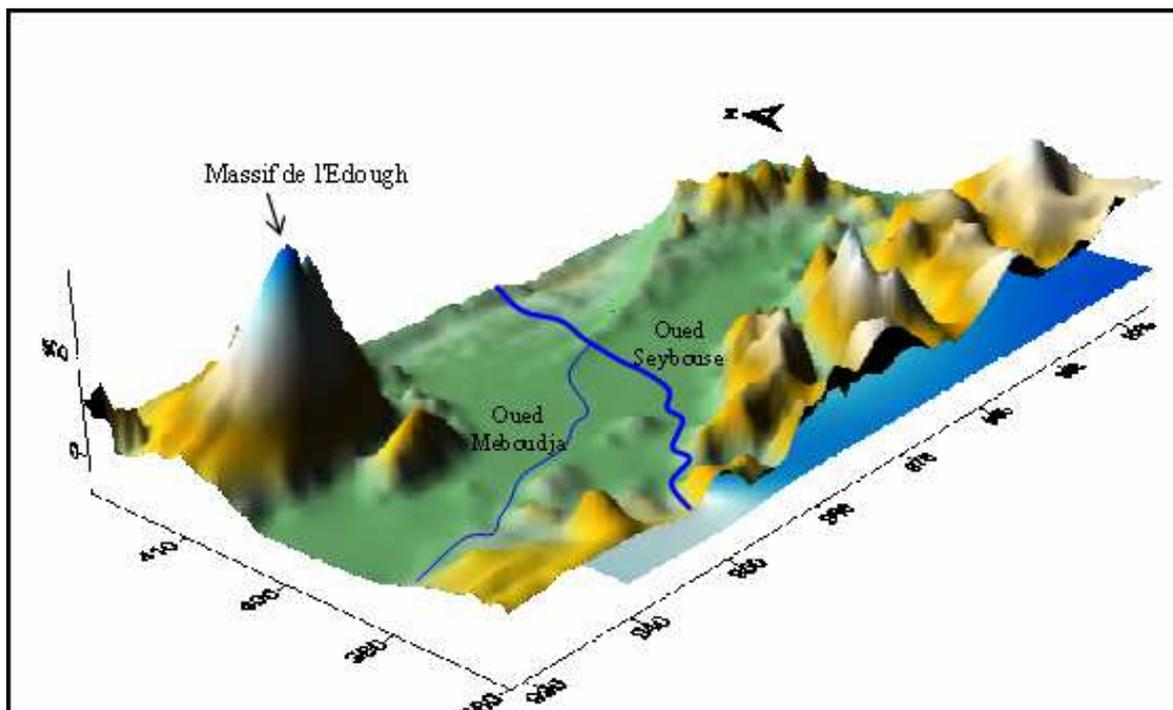
Ils occupent environ une superficie de 4786 ha et ils sont généralement localisés dans les dépressions des terrasses couvertes d'argiles imperméables et semi perméables engendrant, parfois, des graves crues au niveau des oueds Seybouse et Bounamoussa.

### **1-5. La plaine**

Elle est caractérisée par une topographie presque régulière composée d'alluvions comblant une dépression limitée au Nord par le massif de l'Edough et au Sud par la chaîne numidienne.

### **1-6. Les plages**

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



**Fig. 08: Géomorphologie de la plaine de Annaba (In Khalfaoui, Medjani 2005).**

## **2. Cadre géologique**

La région de Annaba a fait l'objet de plusieurs études géologiques, dont celles de H. JOLEAUD (1936), J. HILLY (1967), J. M. VILLA (1980), J. C. LAHONDERE (1987). Ces études ont montré deux types de terrains (fig. 09) :

- L'un sédimentaire occupe la majeure partie de la plaine.
- L'autre métamorphique occupe la partie Ouest de la plaine (les massif de l'Edough, Bellielita et Bouhamra).

### **2.1. Stratigraphie**

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

#### **2.1.1. Formations sédimentaires**

Sont représentées par des calcaires surmontés tectoniquement par des flyschs schisteux surmontés à leur tour par des grès numidiens. En commençant par les terrains les plus récents jusqu'aux les plus anciens suivant l'échelle stratigraphique, on distingue :

### **2.1.1.1. Le Quaternaire**

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

#### **2-1-1-1-1. Le Quaternaire actuel**

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

#### **2-1-1-1-2. Le Quaternaire récent**

Il correspond aux basse et moyenne terrasses représentées par des dépôts alluvionnaires et limoneux de part et d'autre de la Seybouse.

#### **2-1-1-1-3. Le Quaternaire moyen**

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

#### **2-1-1-1-4. Le Quaternaire ancien**

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

### **2-1-1-2. Le Tertiaire**

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

#### **2-1-1-2-1. Le Mio-Pliocène**

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

#### **2-1-1-2-2. L'Oligocène**

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

### **2-1-1-2-3. L'Eocène inférieur**

Série transgressive formée de calcaires massifs à faciès épinéritique.

### **2-1-1-3. Le Secondaire**

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

#### **2-1-1-3-1. La chaîne de Calcaire**

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

#### **2-1-1-3-2. Domaine des flyschs**

Il s'agit essentiellement d'une alternance de microbrèches, de marnes et de marno-calcaires dont l'âge va du Barrémien jusqu'au Sénonien ; subdivisé selon J. M. VILLA, 1966 (in. Saaidia, 1992) en deux types :

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

### **2-1-2. Formations métamorphiques**

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

#### **2-1-2-1. L'unité supérieure**

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

- Une série des gneiss oillés, claires et sombres.
- Une série de micaschistes, Grenats et cipolins.

- Une série des amphibolites.

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

#### **2-1-2-2. L'unité intermédiaire**

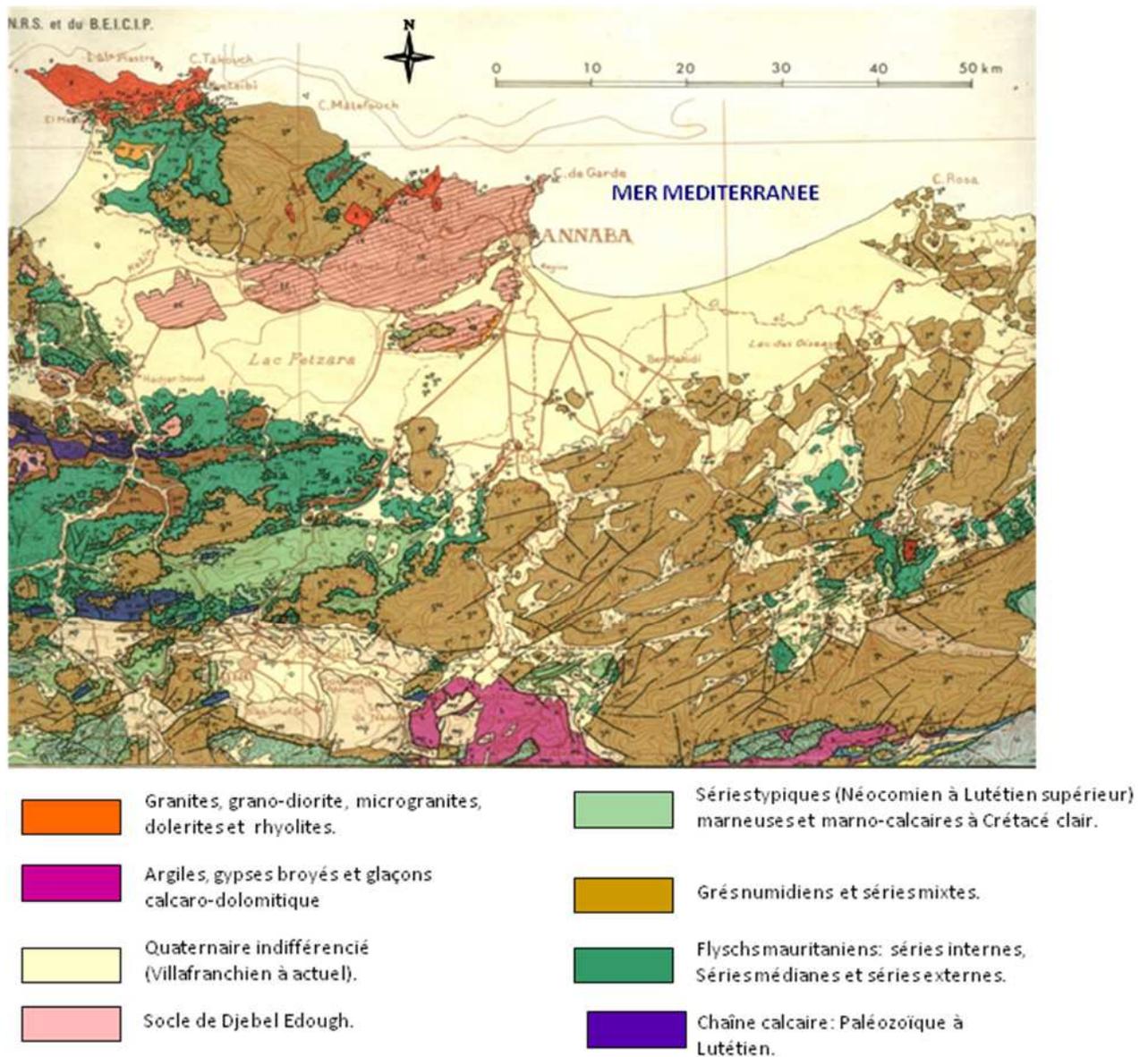
Affleure dans la zone périphérique de l'Edough, elle est constituée par des schistes, des micaschistes riches en Biotite et Muscovite et de Grenats, parfois avec des Feldspaths souvent visibles à l'œil nu.

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

#### **2-1-2-3. L'unité inférieure (ou de base)**

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

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



**Fig. 09 Extrait de la carte géologique de l'extrême Nord Est algérien**  
(D'après J.M.VILA. 1978)

## 2-2. Tectonique

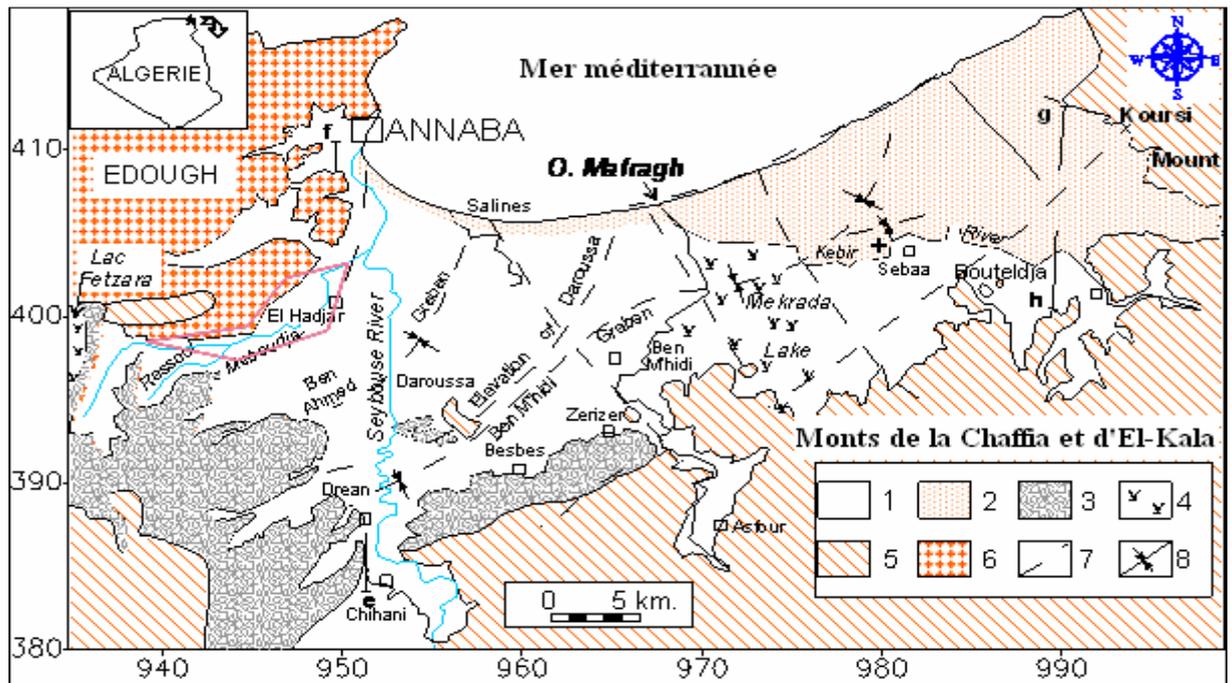
La thèse de Numidien autochtone avancée par L. JOLEAUD (1936) (une étude géologique de Annaba et des monts d'El-Kala) est réfutée actuellement par les résultats des travaux de recherche sur la géologie structurale de l'Algérie du Nord-Est.

Il en ressort d'après J. M. VILLA (1977), que l'unité numidienne qui apparaît comme plissée principalement à l'Oligocène n'est pas en place et repose en contact anormal sur n'importe quel terme de séries anciennes.

### 2-2-1. Les unités tectoniques

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

Les unités tectoniques qui constituent la région d'étude sont (fig. 10).



**Fig. 10: Situation géologique et structurale des plaines de la région de Annaba-Bouteldja (D'après STROJEXPORT, 1975, in A. HANI 2002) modifiée.**

**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.

#### 2-2-1-1. Le socle de l'Edough

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

#### 2-2-1-2. Série de flyschs d'âge Eocène

Se présente comme une unité charriée en nappes de recouvrement et reposant en partie sur le cristallin de l'Edough et en partie sur les unités telliennes qui sont développées en profondeur. Au dessous des flyschs, les unités telliennes sous jacentes sont bien plissées.

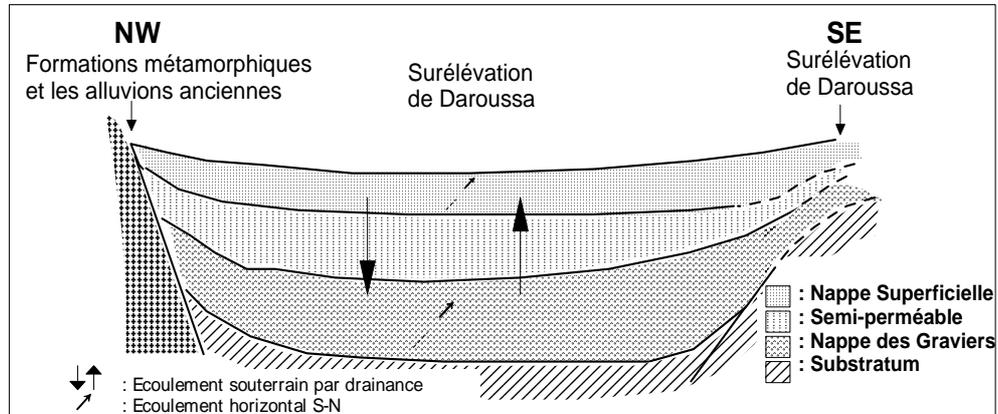
### 2-2-1-3. Mio-Pliocène

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

### 2-2-2. Effondrement de la plaine de Annaba

L'effondrement de la plaine de Annaba avait lieu durant le Néogène (Miocène inférieur), l'ensemble de la région a été soumis à des phénomènes orogéniques ayant pour conséquences, la naissance des plis numidiques et l'isolement complet du massif de l'Edough (fig. 11).

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



**Fig. 11 : Coupe schématique du fossé d'effondrement de la basse plaine de la Seybouse, (Hani, 2003).**

L'effondrement est marqué par deux importants fossés :

- Le fossé de Ben Ahmed, orienté Sud-Nord.
- Le fossé de Ben Mhidi, orienté Sud-Ouest, Nord-Est.

Les deux fossés sont séparés par « l'élévation de Daroussa ».

### **3. Conclusion**

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

La géologie de la région est caractérisée par des formations allant du Mio-Plio-Quaternaire jusqu'au Primaire, présentant ainsi une lithologie très variée qui comprend essentiellement : des alluvions (sables, graviers, cailloutis,...), des grès, des argiles, des flyschs et des calcaires.

Du point de vue structural, on y distingue deux fosses d'effondrement (Ben Ahmed et Ben Mhidi) ; dont l'étendue, la variation lithologique latérale et verticale ont conditionné la formation de plusieurs horizons aquifères lenticulaires à continus sur toute l'étendue de la plaine.

# **3<sup>ème</sup> CHAPITRE**

## **Etude hydroclimatologique**

### 3eme Chapitre : Etude hydroclimatologique

#### 1. Introduction

Le fonctionnement des aquifères et l'évolution des niveaux piézométriques dépendent étroitement des précipitations, des exutoires et des prélèvements (Castany, 1982). L'étude des caractéristiques hydroclimatologiques joue un rôle primordial dans la connaissance des comportements des cours d'eaux, les variations des réserves, la compréhension des mécanismes d'alimentation et de circulation des eaux naturelles. Pour cela, il est indispensable de connaître tous les éléments du cycle de l'eau, à savoir les précipitations, l'évapotranspiration, l'écoulement de surface et l'infiltration. Donc l'élaboration du bilan hydrique est indispensable pour mieux comprendre le fonctionnement et les influences d'un système hydraulique de surface d'une région donnée. Dans le cadre de cette étude, on tentera de procéder à un calcul du bilan hydrique à partir des données météorologiques disponibles au niveau des stations de Pont Bouchet, les Salines, et Berrahal.

#### 2. Stations de mesures

L'observation s'est faite sur une période de 29 ans (de 1978 à 2007), à travers les stations des Salines, Pont Bouchet et Berrahal, dont les données sont les plus complètes et les plus représentatives de la zone d'étude (tab.04).

**Tableau 04 : Coordonnées des stations météorologiques et période d'observation.**

| Paramètres<br>Stations | Code   | X<br>(km) | Y<br>(km) | Altitude<br>(m) | Période<br>d'observation |
|------------------------|--------|-----------|-----------|-----------------|--------------------------|
| Les Salines            | 60360  | 955.200   | 403.800   | 03              | 1978-2007                |
| Pont Bouchet           | 140631 | 950.500   | 402.000   | 06              | 1978-2007                |
| Berrahal               | 031302 | 923.205   | 403.423   | 33              | 1978-2007                |

### 3. Facteurs climatiques

#### 3.1. Précipitations

L'établissement du bilan hydrique repose sur l'étude de tous les facteurs (précipitations, températures, évapotranspiration, couvert végétal...) intervenant dans son évolution spatiotemporelle. Toute étude climatologique nécessite, donc, une analyse bien détaillée des précipitations, car la pluie est un facteur qui conditionne l'écoulement saisonnier et par conséquent, le régime des cours d'eaux ainsi que celui des nappes. Pour l'interprétation des données pluviométriques, nous avons pris en considération les informations recueillies au niveau des stations précédemment définies durant une période d'environ 29ans (tab.05).

##### 3.1.1. Représentation mensuelle des précipitations

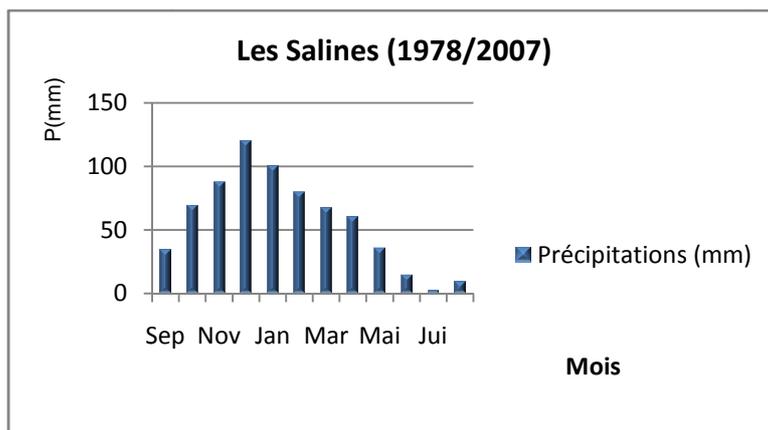
Pour évaluer la variation des précipitations moyennes mensuelles, nous avons établi les histogrammes relatifs à chaque station (fig. 12, 13, et 14):

**Tableau 05 : Précipitations moyennes mensuelles en (mm) des trois stations : Les Salines, Pont Bouchet et Berrahal (1978-2007).**

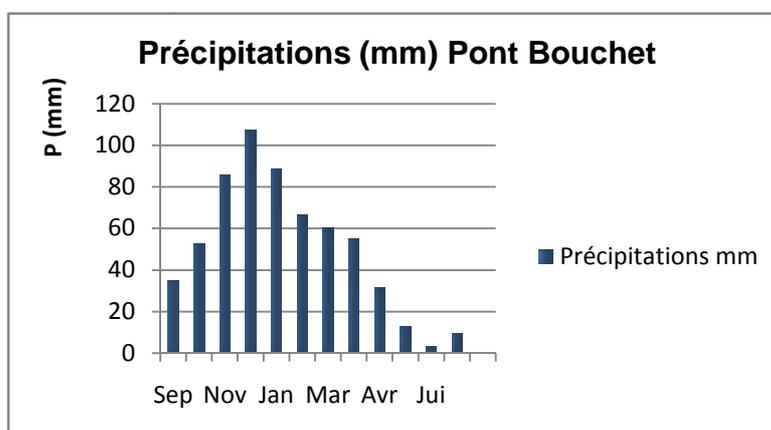
|              | Sep   | Oct   | Nov.  | Dec    | Janv   | Fev   | Mar   | Avr   | Mai   | Juin  | Juil | Août | Total |
|--------------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|
| Les Salines  | 34.50 | 69.39 | 87.66 | 119.92 | 100.10 | 79.71 | 67.19 | 60.39 | 35.62 | 14.62 | 2.20 | 9.43 | 680.7 |
| Pont Bouchet | 35.00 | 52.77 | 85.97 | 107.52 | 888.00 | 66.27 | 60.12 | 55.02 | 31.67 | 12.91 | 3.14 | 9.72 | 608.9 |
| Berrahal     | 28.7  | 57.4  | 92.7  | 136.1  | 110.1  | 83.9  | 65.0  | 60.1  | 36.4  | 12.8  | 3.3  | 7.3  | 693.3 |

L'interprétation des histogrammes réalisés à partir des données pluviométriques fait ressortir les remarques suivantes :

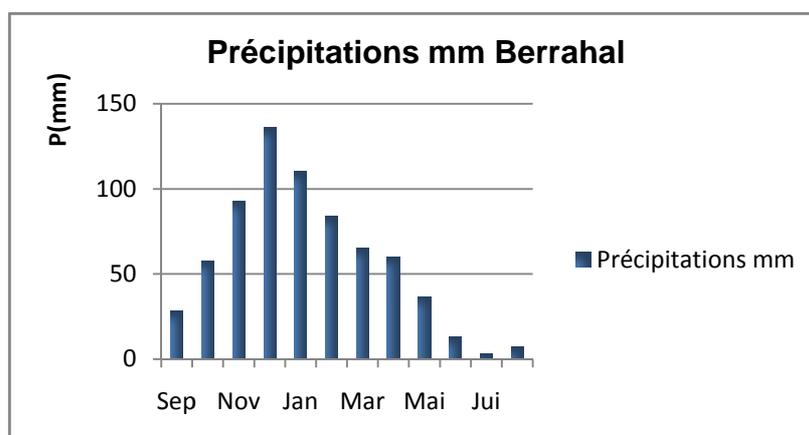
- La plus forte valeur des précipitations est marquée au mois de Décembre avec 119.92 mm (les Salines), 107.82mm (Pont Bouchet) et 136.1mm (Berrahal).
- La plus faible valeur est toujours enregistrée au mois de Juillet pour les trois stations : les Salines (2.20mm), Pont Bouchet (3.14mm) et Berrahal (3.3mm).



**Fig.12 : Histogramme des précipitations moyennes mensuelles de la station des Salines (1978-2007).**



**Fig. 13 : Histogramme des précipitations moyennes mensuelles de la station de Pont Bouchet (1978-2007).**



**Fig. 14 : Histogramme des précipitations moyennes mensuelles de la station de Berrahal (1978-2007).**

### 3.1.2. Coefficient pluviométrique (CP)

Ce coefficient permet de distinguer la variation interannuelle des précipitations c'est-à-dire il met en relief les années excédentaires et déficitaires :

- Une année est dite excédentaire (AE) si :  $CP > 1$ .
- Elle est par contre déficitaire (AD) si :  $CP < 1$ .

Ce paramètre est en relation proportionnelle avec la pluviométrie. Il est calculé par le rapport de la pluviométrie de l'année considérée sur la pluviométrie moyenne annuelle observée à une station donnée (tab. 06):

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

tel que :

CP : Coefficient pluviométrique.

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

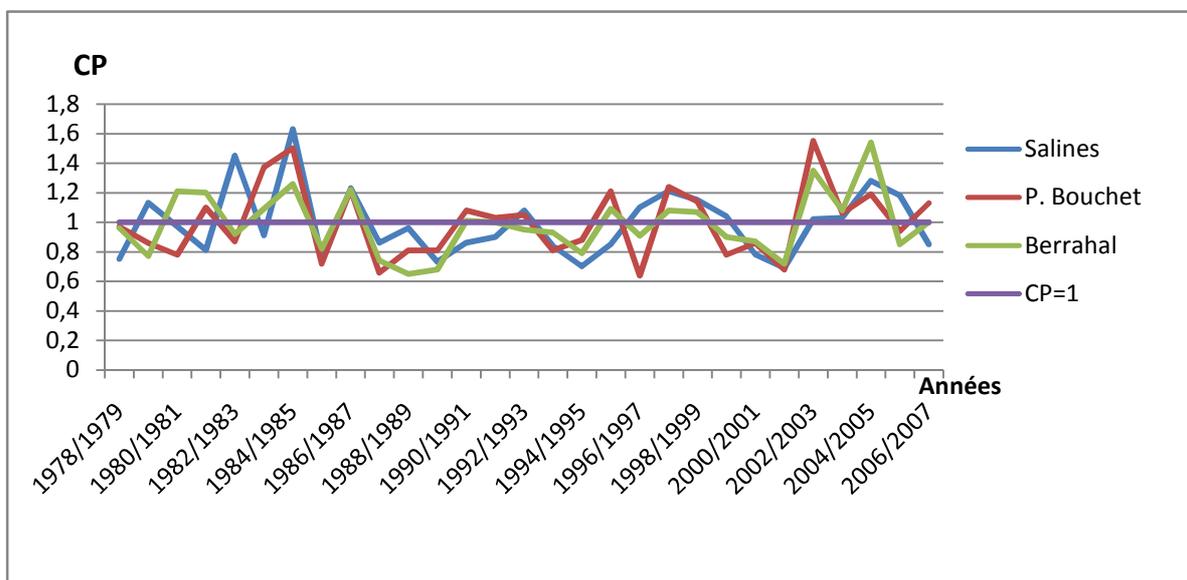
$P_{moy}$  : Pluviométrie moyenne annuelle en (mm).

**Tableau 06 : Coefficient pluviométrique des stations étudiées (1978-2007).**

| CP<br>Année | Station des Salines |             | Station de Pont<br>Bouchet |             | Station de Berrahal |             |
|-------------|---------------------|-------------|----------------------------|-------------|---------------------|-------------|
|             | CP                  | Observation | CP                         | Observation | CP                  | Observation |
| 1978/1979   | 0.75                | AD          | 0.97                       | AD          | 0.96                | AD          |
| 1979/1980   | 1.13                | AE          | 0.86                       | AD          | 0.77                | AD          |
| 1980/1981   | 0.97                | AD          | 0.78                       | AD          | 1.21                | AE          |
| 1981/1982   | 0.81                | AD          | 1.10                       | AE          | 1.2                 | AE          |
| 1982/1983   | 1.45                | AE          | 0.87                       | AD          | 0.92                | AD          |
| 1983/1984   | 0.91                | AD          | 1.37                       | AE          | 1.09                | AE          |
| 1984/1985   | 1.63                | AE          | 1.50                       | AE          | 1.26                | AE          |
| 1985/1986   | 0.76                | AD          | 0.72                       | AD          | 0.82                | AD          |
| 1986/1987   | 1.23                | AE          | 1.22                       | AE          | 1.22                | AE          |
| 1987/1988   | 0.86                | AD          | 0.66                       | AD          | 0.74                | AD          |
| 1988/1989   | 0.96                | AD          | 0.81                       | AD          | 0.65                | AD          |
| 1989/1990   | 0.73                | AD          | 0.81                       | AD          | 0.68                | AD          |
| 1990/1991   | 0.86                | AD          | 1.08                       | AE          | 1.01                | AE          |
| 1991/1992   | 0.90                | AD          | 1.03                       | AE          | 1.0                 | AE          |
| 1992/1993   | 1.08                | AE          | 1.05                       | AE          | 0.95                | AD          |
| 1993/1994   | 0.84                | AD          | 0.81                       | AD          | 0.93                | AD          |
| 1994/1995   | 0.70                | AD          | 0.88                       | AD          | 0.79                | AD          |
| 1995/1996   | 0.85                | AD          | 1.21                       | AE          | 1.09                | AE          |
| 1996/1997   | 1.10                | AE          | 0.64                       | AD          | 0.91                | AD          |
| 1997/1998   | 1.21                | AE          | 1.24                       | AE          | 1.08                | AE          |
| 1998/1999   | 1.15                | AE          | 1.14                       | AE          | 1.07                | AE          |
| 1999/2000   | 1.04                | AE          | 0.78                       | AD          | 0.90                | AD          |

|           |      |    |      |    |      |    |
|-----------|------|----|------|----|------|----|
| 2000/2001 | 0.78 | AD | 0.86 | AD | 0.87 | AD |
| 2001/2002 | 0.69 | AD | 0.68 | AD | 0.72 | AD |
| 2002/2003 | 1.02 | AE | 1.55 | AE | 1.35 | AE |
| 2003/2004 | 1.03 | AE | 1.06 | AE | 1.08 | AE |
| 2004/2005 | 1.28 | AE | 1.19 | AE | 1.54 | AE |
| 2005/2006 | 1.18 | AE | 0.94 | AD | 0.85 | AD |
| 2006/2007 | 0.85 | AD | 1.13 | AE | 1.00 | AE |

D'après les résultats obtenus, il y a une alternance entre les années excédentaires (AE) et celles déficitaires (AD). On remarque que la station des Salines présente 16 années déficitaires et 13 excédentaires, la station de Pont Bouchet : 15 années déficitaires et 14 excédentaires, la station de Berrahal : 15 années déficitaires et 14 excédentaires (fig. 15).



**Fig. 15: Diagramme du coefficient pluviométrique dans les trois stations de mesure (1978-2007).**

### 3.1.3. Température

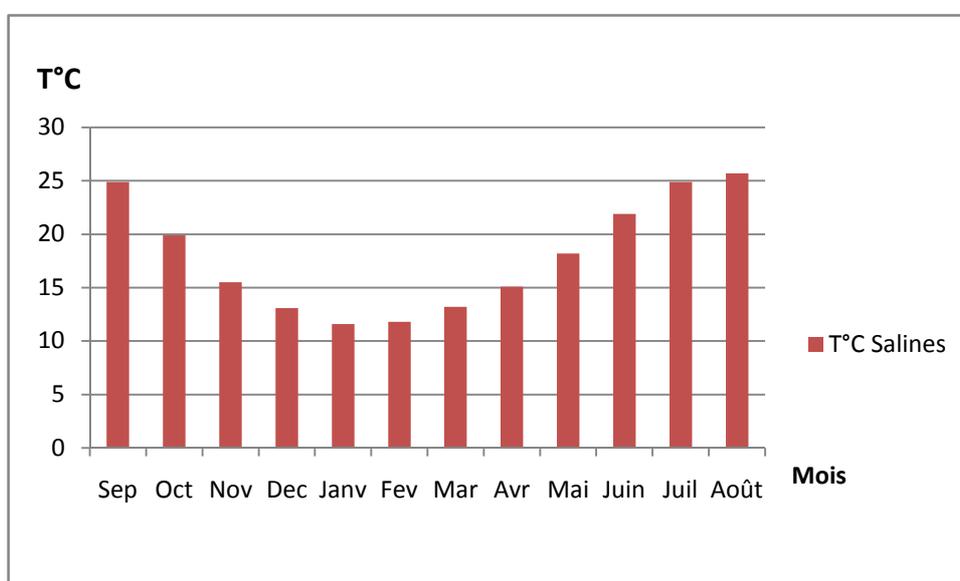
La température est le deuxième facteur important dans l'étude climatique, car elle agit directement sur le phénomène d'évapotranspiration et par conséquent le déficit d'écoulement annuel et saisonnier.

Les températures utilisées se rapportent à la station des Salines enregistrées pendant 29 années d'observation (tab. 07).

**Tableau 07 : Températures moyennes mensuelles en °C à la station des Salines  
(1978-2007).**

| Mois        | Sep  | Oct  | Nov  | Dec  | Janv | Fev  | Mar  | Avr  | Mai  | Juin | Juil | Août | Moyenne |
|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---------|
| Les Salines | 24.9 | 19.9 | 15.5 | 13.1 | 11.6 | 11.8 | 13.2 | 15.1 | 18.2 | 21.9 | 24.9 | 25.7 | 18.0    |

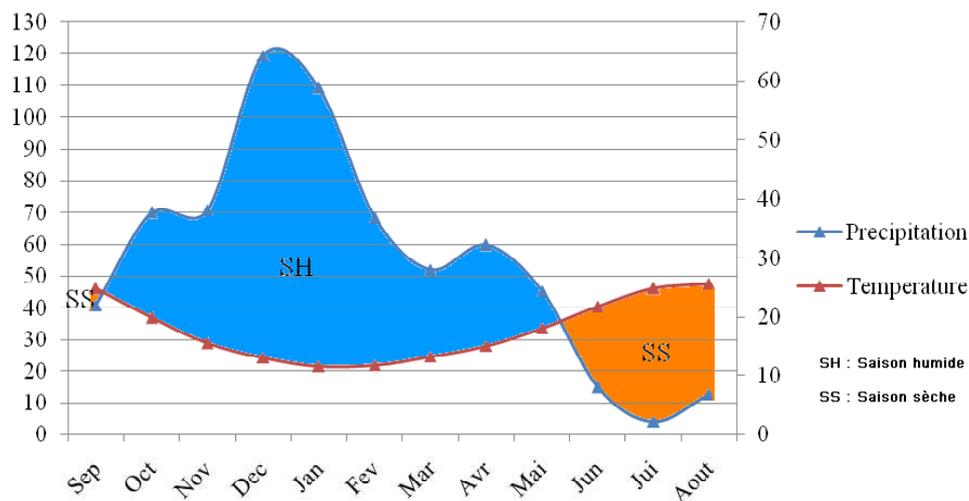
L’histogramme des températures moyennes mensuelles montre que les plus faibles valeurs sont mesurées aux mois de Décembre, Janvier, Février et Mars ; tandis que les plus fortes caractérisent les mois de Juin, Juillet et Août (fig. 16).



**Fig. 16 : Températures moyennes mensuelles de la station des Salines durant la période (1978-2007).**

### 3-1-4. Diagramme ombrothermique (pluiothermique)

Ce diagramme est obtenu par la combinaison des températures et des précipitations moyennes mensuelles selon la relation  $P \text{ (mm)} = 2T^{\circ}\text{C}$ . Il permet de déterminer les saisons sèches et humide (fig.17).



**Fig.17 : Diagramme ombrothermique de la station des Salines (1978-2007).**

- La saison sèche et chaude s'étale du début du mois d'Avril jusqu'au mois de Novembre.
- La saison humide et froide s'étend du mois d'Octobre jusqu'au mois d'Avril.

### 3.1.5. Le vent

La plaine de Annaba est dominée par des vents Nord à Nord-Est, Sud-Ouest à Nord. Les vents les plus violents se manifestent en hiver et les plus faibles en été avec quelques épisodes de SIROCCO qui augmentent la température. La plus forte valeur (4.35 m/s) est mesurée au mois de Décembre (tab08)

**Tableau 08 : Vitesse du vent en (m/s) à la station des Salines (2002-2006).**

| Mois            | Sep  | Oct  | Nov  | Dec  | Janv | Fev  | Mar  | Avr  | Mai  | Juin | Juil | Août | Moyenne |
|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---------|
| Moyenne en m/s. | 3.65 | 3.35 | 4.15 | 4.35 | 4.32 | 4.16 | 3.84 | 3.76 | 3.70 | 3.15 | 4.00 | 3.75 | 3.84    |

### 3.1.6. L'humidité

L'humidité relative de l'air est le rapport exprimé en pourcentage de la tension de vapeur réelle à la tension de vapeur saturante à la même température (tab.09). Elle est déduite des lectures faites au psychromètre à trois moments de la journée (7<sup>h</sup>, 13<sup>h</sup> et 18<sup>h</sup>).

**Tableau 09 : L'humidité moyenne mensuelle en (%) à la station des Salines (1984-2005).**

| Mois                 | Sep | Oct | Nov | Dec | Janv | Fev | Mar | Avr | Mai | Juin | Juil | Août | Moyenne |
|----------------------|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|---------|
| Humidité moyenne (%) | 72  | 75  | 76  | 79  | 77   | 76  | 75  | 74  | 75  | 73   | 70   | 71   | 74.41   |

L'humidité maximale à la station des Salines est de 79% en Décembre et l'humidité minimale est de 70% en Juillet.

#### **4. Bilan hydrique**

L'estimation du bilan hydrique tient compte de plusieurs paramètres et permet d'évaluer la répartition des quantités d'eau reçues par un bassin versant entre ses différentes composantes (écoulement, infiltration et évaporation...). Selon la relation suivante :

$$P = ETR + R + I$$

Avec :

P : Précipitation moyenne annuelle en (mm).

ETR : Evapotranspiration réelle moyenne annuelle en (mm).

R : Ruissellement moyen annuel en (mm).

I : Infiltration moyenne annuelle en (mm).

#### **4.1. Evapotranspiration**

En hydrogéologie, l'évapotranspiration représente l'ensemble des deux phénomènes : l'un, physique « évaporation » et l'autre biologique « transpiration ». On distingue : évapotranspiration potentielle (ETP) et évapotranspiration réelle (ETR).

##### **4.1.1. Evapotranspiration potentielle (ETP)**

C'est la somme des quantités d'eau pouvant s'évaporer et transpirer sur une surface donnée et pendant une période bien définie en considérant des apports d'eau suffisants. Elle est estimée par la formule de « Thornthwaite » utilisable pour les climats subhumides et semi-arides (tab. 10) :

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

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

ETP: Evapotranspiration potentielle mensuelle en (mm).

t : Température moyenne mensuelle en (°C).

i : Indice thermique mensuel.

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

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

$$I = 85.9 ; a = 1.87$$

**Tableau 10 : Résultats de l'ETP, formule de « Thornthwaite »,  
Station des Salines (1978-2007).**

| Mois        | Sep   | Oct  | Nov  | Dec  | Janv | Fev  | Mar  | Avr  | Mai  | Juin  | Juil  | Août  | Total |
|-------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| i           | 11.4  | 08.1 | 05.6 | 04.3 | 03.6 | 03.7 | 04.4 | 05.3 | 07.1 | 09.4  | 11.4  | 11.9  | 85.9  |
| ETP<br>(mm) | 121.4 | 75.2 | 41.6 | 28.5 | 24.2 | 24.6 | 37.0 | 50.3 | 78.9 | 112.7 | 145.9 | 144.6 | 885.1 |

#### 4.1.2. Evapotranspiration réelle (ETR)

Par définition, l'ETR est la somme de l'évapotranspiration et de transpiration réelle pour une surface donnée et une période définie. Elle est calculée par la formule de « Turc » qui tient compte des températures et des précipitations moyennes annuelles :

$$ETR = P / (0,9 + P^2 / L^2)^{1/2}$$

Avec :

ETR : Evapotranspiration réelle en (mm).

P : Précipitation moyenne annuelle en (mm).

$L = 300 + 25t + 0.05 t^3$ . (t est la température moyenne annuelle en °C). Il s'agit du pouvoir évaporant qui représente une limite vers laquelle tend l'ETR lorsque P devient grand.

Les valeurs de l'évapotranspiration réelle ETR, calculée par cette formule (de Turc) sont inscrites dans le tableau (N° 11).

**Tableau 11 : Résultats de l'ETR, formule de « Turc » (1978-2007).**

| Station \ Facteurs | P (mm) | t (°C) | L      | ETR (mm) |
|--------------------|--------|--------|--------|----------|
| Les Salines        | 680.7  | 18.0   | 1041.6 | 472.1    |
| Pont Bouchet       | 608.9  | 18.0   | 1041.6 | 451.5    |
| Berrahal           | 703.1  | 18.0   | 1041.6 | 455.5    |

L'estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR) en (mm) est liée au volume de précipitation.

Trois cas peuvent se présenter :

- 1<sup>er</sup> cas :  $P \geq ETP \Rightarrow ETR = ETP$  :

Il y a une reconstitution des réserves du sol jusqu'à saturation, le surplus va représenter l'écoulement superficiel.

- 2<sup>ème</sup> cas :  $P < ETP \Rightarrow ETR = P + RFU$  :

Dans ce cas, la RFU (réserve facilement utilisable) va s'épuiser jusqu'à satisfaction de l'ETP.

- 3<sup>ème</sup> cas :  $P < ETP$  et  $RFU = 0 \Rightarrow ETR = P$  :

Il y aura donc un déficit agricole (DA) représenté par la quantité d'eau qui doit être apporté pour l'irrigation.

#### 4.2. Ruissellement (R)

Il est calculé par la formule de Tixeront Berkaloff modifiée par Romantchouk ( $P > 600\text{mm}$  pour les stations étudiées) (tab. 12):

$$R = P^3 / 3$$

Où R : ruissellement en mm ;

P : précipitation en m

Les résultats obtenus par cette formule sont enregistrés dans le tableau n°9:

**Tableau 12: Ruissellement selon « Romantchouk » (1978-2007).**

| Stations | Paramètres   | P (m) | R (mm) |
|----------|--------------|-------|--------|
|          | Les Salines  | 6.807 | 105.13 |
|          | Pont Bouchet | 6.089 | 75.25  |
|          | Berrahal     | 7.031 | 115.85 |

#### 4.3. Infiltration (I)

Il s'agit de la quantité d'eau franchissant la surface du sol. Elle renouvelle les réserves d'eau souterraines et entretient le débit de l'écoulement souterrain des sorties après circulation dans les formations hydrogéologiques perméables du sous sol (Castany 1982). Elle est déduite de l'équation fondamentale du bilan hydrique (tab. 13) :

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

Avec :

I : L'infiltration en (mm).

P : Précipitation moyenne annuelle en (mm).

R : Ruissellement en (mm).

ETR : Evapotranspiration annuelle en (mm).

**Tableau 13 : Estimation de l'infiltration par l'équation fondamentale du bilan hydrique.**

| Paramètres<br>Stations | P (mm) | R (mm) | ETR (mm) | I (mm) |
|------------------------|--------|--------|----------|--------|
| Les Salines            | 680.7  | 105.1  | 472.1    | 103.5  |
| Pont Bouchet           | 608.9  | 75.25  | 451.5    | 82.15  |
| Berrahal               | 703.1  | 115.85 | 455.5    | 131.75 |

#### 4.4. Bilan hydrique selon Thornthwaite

L'estimation du bilan hydrique par la méthode de Thornthwaite prend en considération la RFU (réserve facilement utilisable) en fonction de la nature du sol et l'enracinement des plantes (tab.14). Les sols étant hétérogènes, la valeur de la RFU est estimée selon la formule de Hallaire qui s'écrit de la manière suivante :

$$\mathbf{RFU} = \frac{c-f}{100} (HxD) + 30 \text{ (mm)}$$

Où

RFU : réserve en eau du sol

C : Capacité au champ

f : Capacité au point de flétrissement

H : Profondeur du sol en (mm)

D : Densité apparente, D=1

Les valeurs de C-f données par Hallaire selon la nature du sol sont :

- C-f=5% pour un sol sableux ;
- C-f=10% à 15% pour un sol limoneux ;
- C-f=20% pour un sol argilo-sableux.

**Tableau 14 : Estimation de la RFU selon la formule de Hallaire**

| Secteur          | Caractéristiques pédologiques et profondeur d'enracinement                      | RFU (mm) |
|------------------|---|----------|
| Plaine de Annaba | Sols argilo-limoneux :<br>C-f=15%<br>Profondeur moyenne d'enracinement : 450 mm | 100      |

En fonction de la RFU calculée (100mm), les bilans des trois stations : Les Salines, Pont Bouchet et Berrahal (1978-2007) ont été établis (tab. 15, 16 et 17).

**Tableau 15 : Bilan hydrique, méthode de « Thornthwaite » pour la station des Salines (1978-2007).**

|        | Sep   | Oct   | Nov   | Dec    | Janv  | Fev   | Mar   | Avr   | Mai   | Juin  | Juil  | Aout  | Total |
|--------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| P(mm)  | 34.5  | 69.39 | 87.66 | 119.92 | 100.1 | 79.71 | 67.19 | 60.39 | 35.62 | 14.62 | 2.20  | 9.43  | 680.7 |
| t (°C) | 24.9  | 19.9  | 15.5  | 13.1   | 11.6  | 11.8  | 13.2  | 15.1  | 18.2  | 21.9  | 24.9  | 25.7  | 18.0  |
| K      | 1.03  | 0.97  | 0.86  | 0.81   | 0.87  | 0.85  | 1.03  | 1.10  | 1.21  | 1.22  | 1.24  | 1.16  |       |
| i      | 11.4  | 8.1   | 5.6   | 4.3    | 3.6   | 3.7   | 4.4   | 5.3   | 7.1   | 9.4   | 11.4  | 11.9  | 85.9  |
| ETP    | 121.4 | 75.2  | 41.6  | 28.5   | 24.2  | 24.6  | 37.0  | 50.3  | 78.9  | 112.7 | 145.9 | 144.6 | 885.1 |
| ETR    | 34.5  | 69.4  | 41.6  | 28.5   | 24.2  | 24.6  | 37.0  | 50.3  | 78.9  | 71.3  | 2.2   | 9.4   | 472.1 |
| RFU    | 0.0   | 0.0   | 46.0  | 100.0  | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 56.7  | 0.0   | 0.0   | 0.0   |       |
| EX     | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 37.5   | 75.9  | 55.1  | 30.2  | 10.1  | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 208.8 |
| DA     | 86.9  | 5.8   | 0.0   | 0.0    | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 41.3  | 143.7 | 135.2 | 413.0 |

**Tableau 16 : Bilan hydrique, méthode de « Thornthwaite » pour la station de Pont Bouchet (1978-2007).**

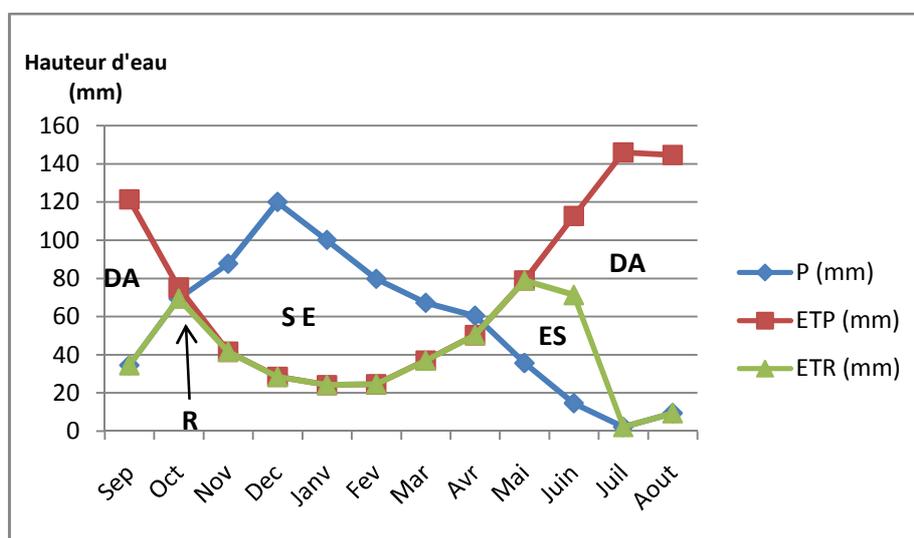
|        | Sep   | Oct   | Nov   | Dec    | Janv | Fev   | Mar   | Avr   | Mai   | Juin  | Juil    | Aout  | Total |
|--------|-------|-------|-------|--------|------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|-------|-------|
| P(mm)  | 35    | 52.77 | 85.97 | 107.52 | 88.8 | 66.27 | 60.12 | 55.02 | 31.67 | 12.91 | 3.14    | 9.72  | 608.9 |
| t (°C) | 24.9  | 19.9  | 15.5  | 13.1   | 11.6 | 11.8  | 13.2  | 15.1  | 18.2  | 21.9  | 24.9    | 25.7  | 18.0  |
| K      | 1.03  | 0.97  | 0.86  | 0.81   | 0.87 | 0.85  | 1.03  | 1.10  | 1.21  | 1.22  | 1.24    | 1.16  |       |
| i      | 11.4  | 8.1   | 5.6   | 4.3    | 3.6  | 3.7   | 4.4   | 5.3   | 7.1   | 9.4   | 11.4    | 11.9  | 85.9  |
| ETP    | 121.4 | 75.2  | 41.6  | 28.5   | 24.2 | 24.6  | 37.0  | 50.3  | 78.9  | 112.7 | 145.9   | 144.6 | 885.1 |
| ETR    | 35.0  | 52.8  | 41.6  | 28.5   | 24.2 | 24.6  | 37.0  | 50.3  | 78.9  | 65.9  | 65.73.1 | 9.7   | 451.5 |
| RFU    | 0.0   | 0.0   | 44.3  | 100    | 100  | 100   | 100   | 100   | 52.8  | 0.0   | 0.0     | 0.0   |       |
| EX     | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 23.4   | 64.6 | 41.6  | 23.1  | 4.7   | 0.0   | 0.0   | 0.0     | 0.0   | 157.4 |
| DA     | 86.4  | 22.4  | 0.0   | 0.0    | 0.0  | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 47.0  | 142.8   | 134.9 | 433.6 |

**Tableau 17 : Bilan hydrique selon la méthode de « Thornthwaite » pour la station de Berrahal (1978-2007)**

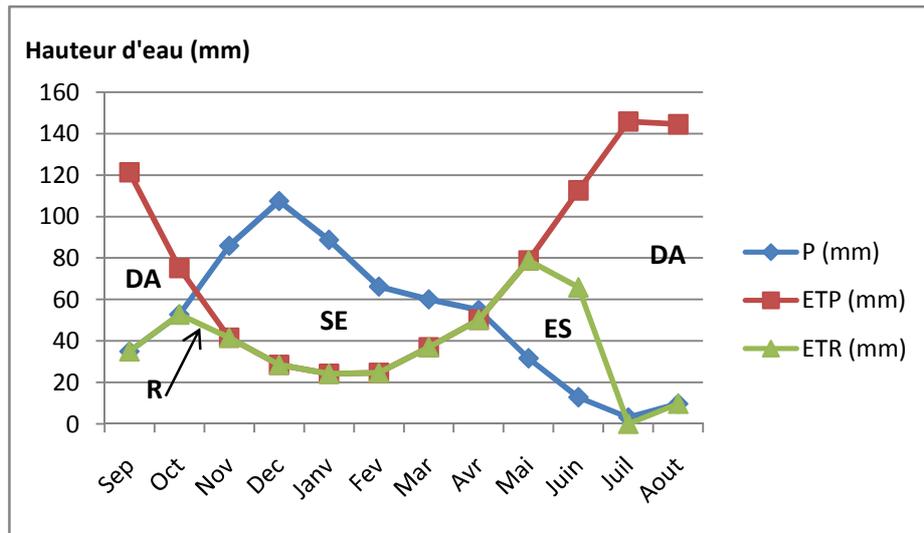
|        | Sep   | Oct   | Nov   | Dec    | Janv   | Fev   | Mar   | Avr   | Mai   | Juin  | Juil  | Aout  | Total |
|--------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| P(mm)  | 31.62 | 57.36 | 98.32 | 135.37 | 105.95 | 68.15 | 56.37 | 90.06 | 40.20 | 10.45 | 2.60  | 6.61  | 703.1 |
| t (°C) | 24.9  | 19.9  | 15.5  | 13.1   | 11.6   | 11.8  | 13.2  | 15.1  | 18.2  | 21.9  | 24.9  | 25.7  | 18.0  |
| K      | 1.03  | 0.97  | 0.86  | 0.81   | 0.87   | 0.85  | 1.03  | 1.10  | 1.21  | 1.22  | 1.24  | 1.16  |       |
| i      | 11.4  | 8.1   | 5.6   | 4.3    | 3.6    | 3.7   | 4.4   | 5.3   | 7.1   | 9.4   | 11.4  | 11.9  | 85.9  |
| ETP    | 121.1 | 74.9  | 41.6  | 28.6   | 24.4   | 24.6  | 36.8  | 50.6  | 79.1  | 112.8 | 145.8 | 144.7 | 885.1 |
| ETR    | 31.5  | 57.4  | 41.6  | 28.6   | 24.4   | 24.6  | 36.8  | 50.6  | 79.1  | 71.6  | 2.6   | 6.6   | 455.5 |
| RFU    | 0.0   | 0.0   | 56.7  | 100.0  | 100.0  | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 61.1  | 0.0   | 0.0   | 0.0   |       |
| EX     | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 63.5   | 81.5   | 43.5  | 19.5  | 39.4  | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 247.5 |
| DA     | 89.5  | 17.6  | 0.0   | 0.0    | 0.0    | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 41.2  | 143.2 | 138.1 | 429.6 |

#### 4.4.1. Représentation graphique du bilan hydrique

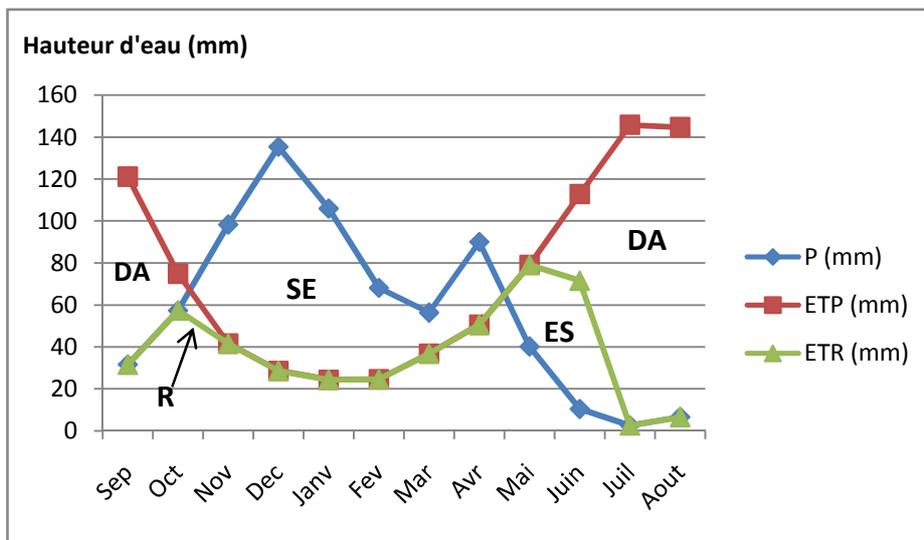
Pour mieux visualiser l'évolution et l'interaction des paramètres du bilan hydrique des représentations graphiques ont été établies (fig. 18, 19, et 20).



**Fig. 18 : Représentation graphique du bilan de Thornthwaite : Station des Salines (1978-2007).**



**Fig. 19 : Représentation graphique du bilan de Thornthwaite : Station de Pont Bouchet (1978-2007).**



**Légende :**

**SE** : Surplus d'eau.

**ES** : Epuisement du stock.

**DA** : Déficit agricole.

**R** : Recharge du sol.

**Fig. 20 : Représentation graphique du bilan de Thornthwaite : Station de Berrahal (1978/2007).**

**4.4.2. Interprétation du bilan hydrique**

L'analyse du bilan hydrique des trois stations (les Salines, Pont Bouchet et Berrahal) selon les résultats des tableaux (15, 16 et 17) et les illustrations graphiques ( fig. 18 , 19 et 20) nous ont permis de tirer les remarques suivantes :

- **Station des Salines**

- L'ETP atteint son maximum au mois de Juillet (145.9 mm) et son minimum au mois de Janvier (24.2mm).
- La reconstitution de la RFU commence au mois de Novembre et atteint son maximum (100mm) au mois de Décembre et se poursuit jusqu'au mois d'Avril, à partir duquel on assiste à un épuisement du stock.
- L'écoulement commence après le remplissage de la RFU c'est-à-dire au mois de Décembre et se termine au mois d'Avril, avec un maximum au mois de Janvier (75.9 mm) et un minimum au mois d'Avril (10.1mm).
- Le déficit agricole (DA) débute au mois de Juin et se poursuit jusqu'au mois d'Octobre.
- L'excédent (208.8 mm) représente 31% des précipitations annuelles (680.7 mm), alors que l'ETR (472.1 mm) représente 69 % des précipitations.

- **Station Pont Bouchet**

- L'ETP atteint son maximum au mois de Juillet (145.9 mm) et son minimum au mois de Janvier (24.2mm).
- La reconstitution de la RFU commence au mois de Novembre et atteint son maximum (100mm) au mois de Décembre et se poursuit jusqu'au mois d'Avril, à partir duquel on assiste à un épuisement du stock.
- L'écoulement commence après le remplissage de la RFU c'est-à-dire au mois de Décembre et se termine au mois d'Avril, avec un maximum au mois de Janvier (64.6 mm) et un minimum au mois d'Avril (4.7 mm).
- Le déficit agricole (DA) débute au mois de Juin et se poursuit jusqu'au mois d'Octobre.
- L'excédent (157.4 m) représente 26 % des précipitations annuelles alors que l'ETR (451.5 mm) représente 74 % des précipitations.

- **Station de Berrahal**

- L'ETP atteint son maximum au mois de Juillet (145.8 mm) et son minimum au mois de Janvier (24.4mm).
- La reconstitution de la RFU commence au mois de Novembre et atteint son maximum (100mm) au mois de Décembre et se poursuit jusqu'au mois d'Avril, à partir duquel on assiste à un épuisement du stock.
- L'écoulement commence après le remplissage de la RFU c'est-à-dire au mois de Décembre et se termine au mois d'Avril, avec un maximum au mois de Janvier (81.5mm) et un minimum au mois de Mars (19.5mm).
- Le déficit agricole (DA) débute au mois de Juin et se poursuit jusqu'au mois d'Octobre.
- L'excédent (247.5 mm) représente 35 % des précipitations annuelles alors que l'ETR (455.5 mm) représente 65 % des précipitations.

## **5. Conclusion**

L'analyse des données climatiques enregistrées sur une période de 29 ans nous ont permis de tirer les conclusions suivantes :

La zone d'étude est soumise à un climat méditerranéen caractérisé par une pluviométrie moyenne annuelle de 680.7mm (les Salines), 608.9mm (Pont Bouchet) et 703.1mm (Berrahal) et par une température moyenne modérée de 18.0°C. Ces deux paramètres climatiques ont permis de distinguer deux saisons typiques du climat méditerranéen : l'une sèche et chaude et l'autre humide et froide.

Le bilan hydrique nous a permis de mettre en relief l'évolution et l'interaction des paramètres climatiques et de quantifier les entrées et sorties d'eau de la surface étudiée.

La RFU (100mm) a été calculée en fonction de la nature du sol selon la formule de Hallaire.

L'évapotranspiration potentielle annuelle (ETP) est de 885.1mm pour l'ensemble des stations.

La reconstitution de la recharge commence au mois de Novembre et s'achève au mois d'Avril. L'épuisement du stock du sol s'observe au moi de Mai 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 413.0mm (les Salines), 433.6mm (Pont Bouchet) et 429.6mm (Berrahal).

L'excédent, en rapport avec la période des hautes eaux, représente 31%, 26% , et 35% des précipitations respectivement pour les stations les Salines, Pont Bouchet et Berrahal.

L'infiltration calculée à partir du bilan hydrique est de 103.5mm (les Salines), 82.15mm (Pont Bouchet) et 131.75mm (Berrahal).

Les valeurs du ruissellement sont de 105.1mm (les Salines), 75.25mm (Pont Bouchet) et 115.85mm (Berrahal).

# **4<sup>eme</sup> CHAPITRE**

## **Caractéristiques hydrogéologiques**

## 4<sup>ème</sup> Chapitre : Caractéristiques hydrogéologiques

### 1. Introduction

L'étude hydrogéologique est consacrée à l'identification du système aquifère, sa géométrie, ses limites et son alimentation. Les études antérieures (géologiques, géomorphologiques et hydrogéologiques...) effectuées dans la région, ont montré que la région renferme dans son sous sol, de haut en bas, un ensemble de remplissage Mio-plio-quadernaire formé par une alternance de sables argileux, de sables, de graviers et de travertins constituant deux types d'aquifères d'importances quantitative et qualitative inégales.

\_ Aquifère superficiel.

\_ Aquifère profond.

Dans ce qui va suivre, on va se pencher surtout sur l'identification des formations aquifères, la détermination de leur géométrie et le suivi du niveau piézométrique. Ce qui va nous aider à mieux comprendre la vulnérabilité du système aquifère aux différents polluants. Une attention particulière sera accordée aux zones à fortes activités anthropiques où on distingue une importante concentration urbaine et industrielle : El Hadjar, Berka Zerga et Kherraza.

### 2. Description des différents aquifères (fig. 21et 22)

#### 2.1. Aquifère superficiel

Cet aquifère est représenté par des alluvions argilo-limoneuses. Il couvre la majorité de la plaine d'une superficie de 320 km<sup>2</sup> et s'étend sur tous les systèmes alluvionnaires des principaux oueds (oued Seybouse, oued Méboudja, oued Zied). L'épaisseur moyenne de l'aquifère varie de 5 à 15 mètres, la transmissivité est très faible ( $10^{-6}$  à  $10^{-4}$  m<sup>2</sup>/s) (GAUD, 1976) ; exceptée dans les zones en bordure immédiate des oueds et au niveau du cordon dunaire, où elle est de l'ordre de  $10^{-2}$  m<sup>2</sup>/s. La perméabilité moyenne est comprise entre  $10^{-6}$  et  $10^{-5}$  m/s et le coefficient d'emmagasinement est de l'ordre de 2 % (Saaidia, 1992). La répartition spatiale des différentes formations hydrogéologiques a montré que le système aquifère englobe quatre nappes dont l'épaisseur et l'extension varie d'un secteur à l'autre : La nappe des gneiss altérés, la nappe du cordon dunaire, la nappe des cailloutis des terrasses et la nappe des alluvions récentes et actuelles.

### **2.1.1. Nappe des gneiss altérés**

Les gneiss altérés ont été reconnus par des sondages effectués en bordure des massifs de Bouhamra et Béllielita ; leur profondeur n'atteint jamais plus de 20 mètres, elle est en moyenne de 10 à 15 mètres. La nappe qui s'y trouve est peu importante, elle est exploitée par des puits de faible débit (0.5 à 1.5 l/s). Les gneiss massifs, dépourvus d'une importante fissuration, constituent une zone de faible alimentation notamment pour la nappe phréatique.

### **2.1.2. Nappe du cordon dunaire**

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

### **2.1.3. Nappe des cailloutis des terrasses**

Elle est localisée sur la bordure Sud Sud-Ouest de la plaine de Annaba, entre Ain Breda à l'Ouest et Zérizer à l'Est et contenue dans les cailloutis et les galets. D'après GAUD (1976), la transmissivité de cette nappe est faible variant de  $10^{-5}$  à  $10^{-4}$  m<sup>2</sup>/s. Etant donné ses faibles potentialités hydrauliques, cette nappe est exploitée par des puits destinés à l'irrigation et l'abreuvement du bétail particulièrement pendant les mois secs.

### **2.1.4. Nappe des alluvions récentes et actuelles**

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

## **2.2. Aquifère profond**

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

### **2.2.1. Nappe des cipolins**

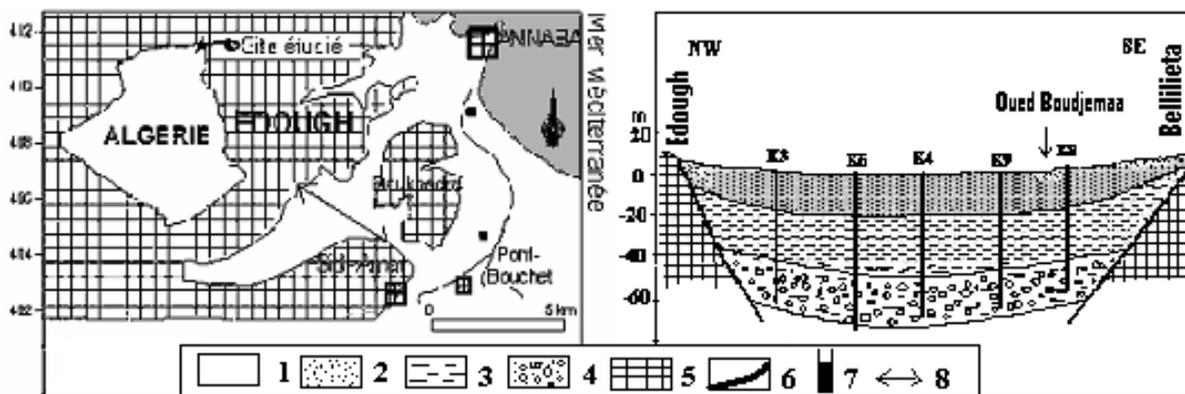
Elle est localisée au Nord-Ouest en bordure des massif métamorphiques de Bouhamra et de Béllielita et contenue dans les cipolins fissurés. Sa profondeur varie de 12 à 80 mètres. Les forages ayant atteint cette nappe donnent des débits d'exploitation d'ordre de 15 l/s avec une transmissivité comprise entre  $5.10^{-5}$  et  $10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$  (tab.18).

### 2.2.2. Nappe des graviers

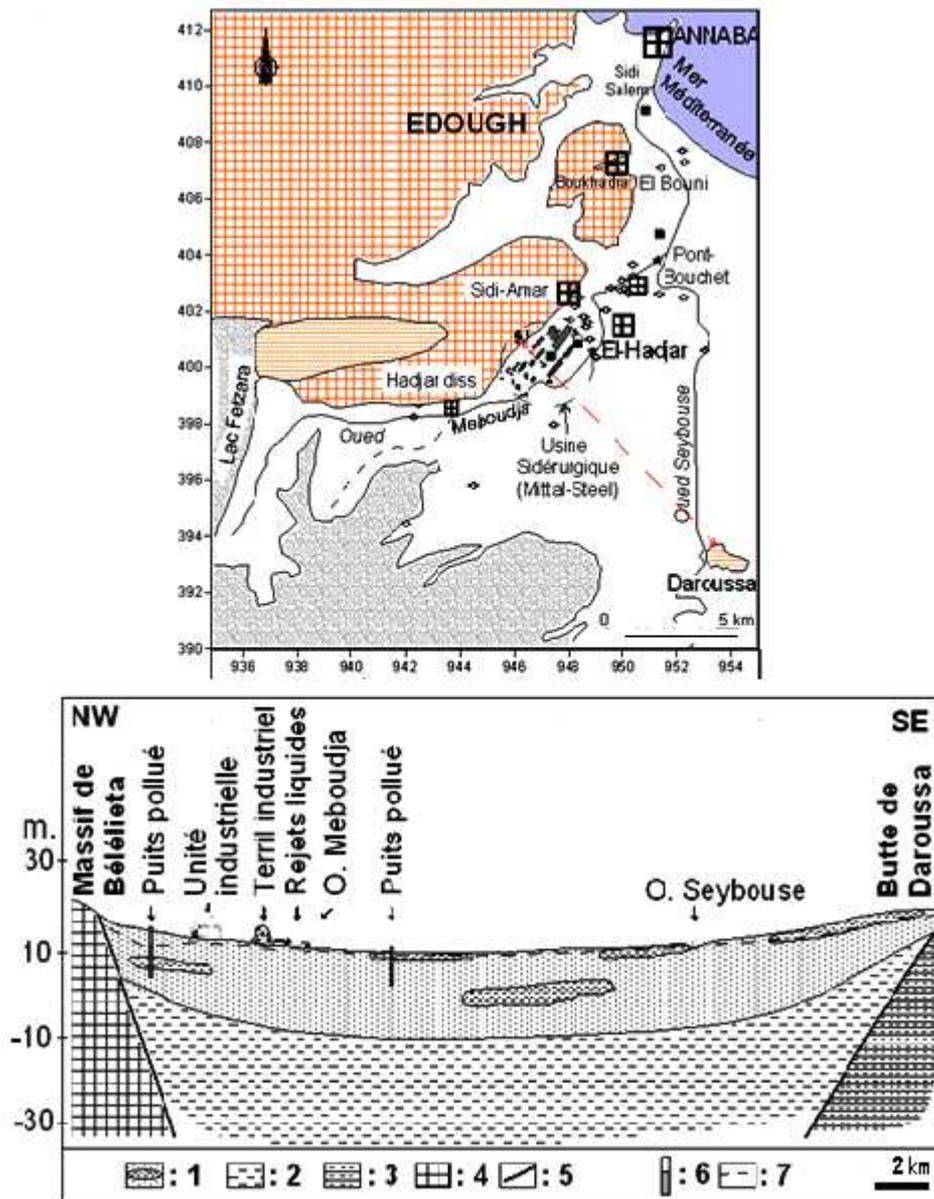
Elle se trouve sous une couche argileuse d'environ 20 mètres d'épaisseur qui la sépare de la nappe phréatique. Elle s'étend sur toute la superficie de la plaine. Elle est captive dans sa presque totalité excepté en bordure Sud Sud-Ouest où elle devient libre quand les graviers affleurent en surface. Elle est contenue au sein des graviers, des sables et des galets plio-quaternaires. Son épaisseur ne dépasse pas les 70 mètres. La transmissivité est de  $3,5.10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$  et le coefficient d'emmagasinement (S) est parfois très faible de l'ordre de  $10^{-4}$  où la nappe est captive et atteint  $10^{-2}$  dans les zones où elle est libre (tab. 18).

**Tableau. 18. Paramètres hydrodynamiques des aquifères de la plaine d'Annaba**

| Aquifères                       | Transmissivité<br>(m <sup>2</sup> /s)   | Perméabilité<br>(m/s)               | Coefficient<br>d'emmagasinement |
|---------------------------------|---|-------------------------------------|---------------------------------|
| Nappe des sables et<br>graviers | 10 <sup>-2</sup>                        | 10 <sup>-3</sup> à 10 <sup>-5</sup> | 10 <sup>-2</sup>                |
| Nappe des cipolins              | 5.10 <sup>-3</sup> à 5.10 <sup>-5</sup> | 10 <sup>-4</sup> à 10 <sup>-6</sup> | 10 <sup>-4</sup>                |



**Figure 21 : Situation, esquisse et coupe hydrogéologique de la plaine de Kherraza : 1: Quaternaire indifférencié, 2: Alluvions anciennes, 3: argiles, 4: Conglomérats et graviers, 5: Formations métamorphiques, 6 : Faille, 7 : Forage, 8 : Coupe**



**Fig. 22 : Situation, esquisse et coupe hydrogéologique de la basse Seybouse - Meboudja.** (in DJORFI S. 2008, modifié). 1 : Formations aquifères (alluvions, sables, limons et argiles) ; 2 : Argiles mio-plio-quadernaires ; 3 : Grès et argiles numidiens ; 4 : Formations métamorphiques ; 5 : Failles ; 6 : Puits ; 7 : niveau piézométrique.

### 3. La piézométrie

L'étude de la surface piézométrique, établie avec les données sur les niveaux piézométriques, représente, à une date donnée, la distribution spatiale des charges et des potentiels hydrauliques.

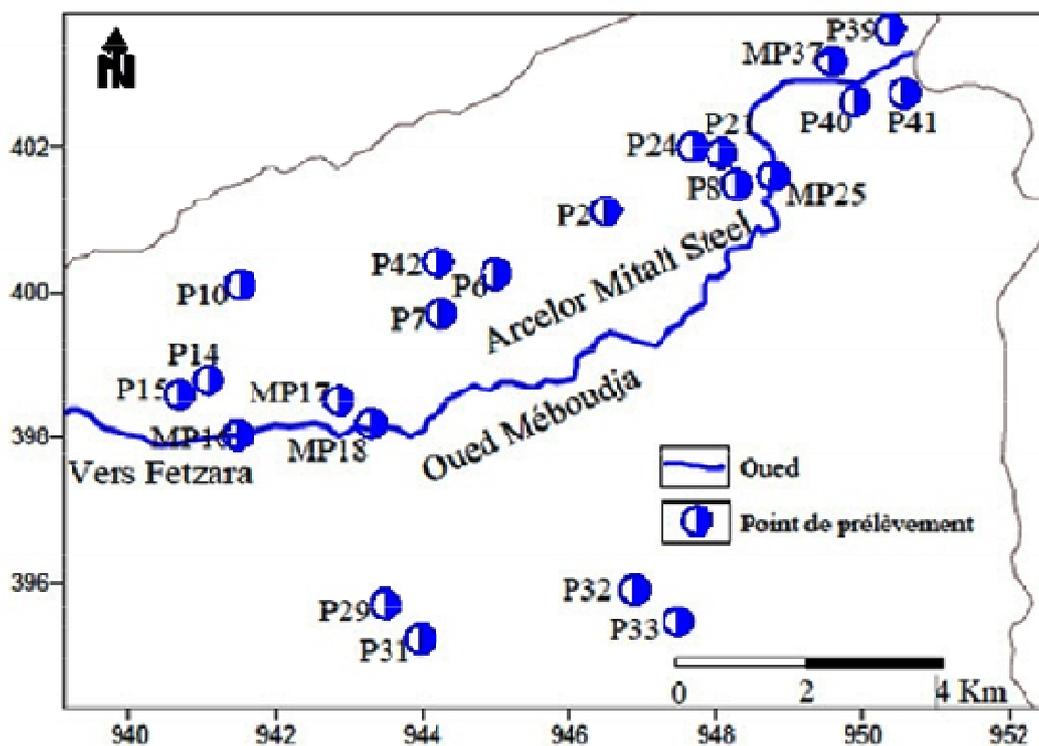
La carte piézométrique permet de déterminer, le sens et la vitesse d'écoulement, le gradient hydraulique, les conditions aux limites d'une nappe ; ainsi que les zones d'alimentation et d'accumulation des eaux souterraines.

Dans notre cas, l'étude piézométrique a touché uniquement les secteurs où le problème de la pollution et l'atteinte à l'environnement se pose avec acuité. Deux zones sont prises en considération :

- La plaine de l'oued Méboudja (zones industrielles : Arcelor Mittal steel, Meboudja I et Meboudja II);
- La plaine de l'oued Zied (en relation avec la décharge de Berka Zerga).

### 3.1. La plaine de l'oued Méboudja

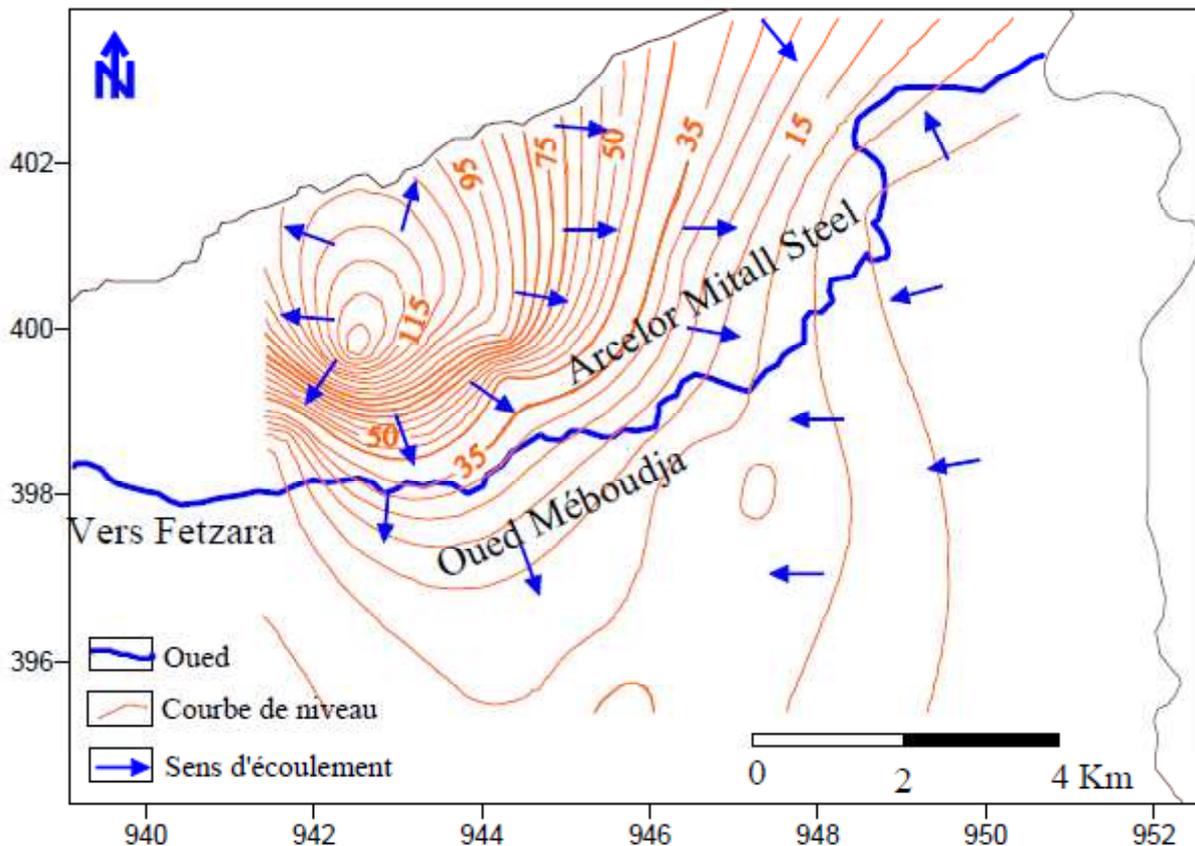
Les mesures et les prélèvements effectués sur les eaux superficielles et souterraines ont touché près de 30 points (Fig. 23). Il s'agit de puits domestiques captant la nappe phréatique et utilisés pour l'AEP, l'irrigation et l'abreuvement du bétail. A ce niveau la nappe est susceptible à la pollution sa sensibilité étant élevée ce qui exige, donc, une protection des rejets urbains et industriels.



**Fig. 23. Carte d'inventaire des points d'eau dans le bassin de l'oued Méboudja au niveau d'Arcelor Mittal Steel**

L'évolution du niveau piézométrique est fonction de plusieurs paramètres, parmi lesquelles les précipitations, la topographie la lithologie et l'état de la nappe. Les mesures piézométriques ont permis de dresser la carte (Fig. 24).

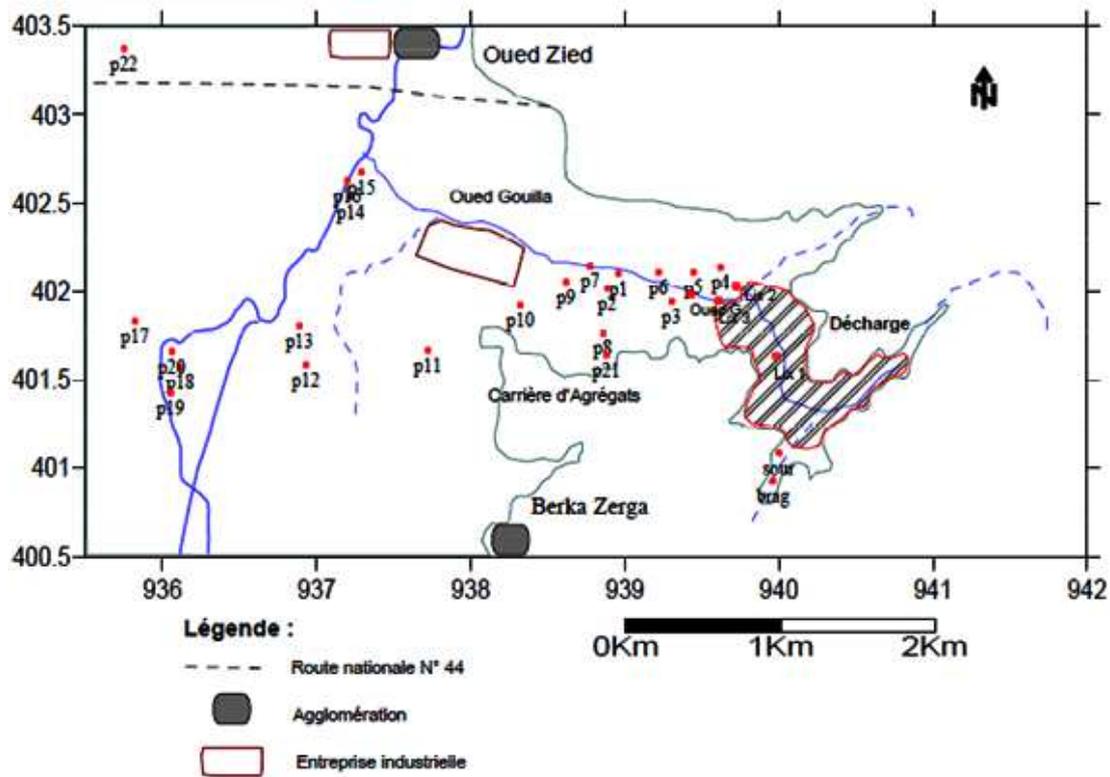
Les courbes piézométriques sont fermées et serrées dans la partie amont de l'oued Méboudja (localité de Derradji Redjem), traduisant une zone de protubérance due à un apport à partir du socle métamorphique sous l'effet de la topographie. Le gradient hydraulique y est de l'ordre de  $5 \cdot 10^{-2}$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



**Fig. 24 : Carte piézométrique dans le bassin de l'oued Méboudja Avril, 2008 (in Lekoui S. 2011)**

### 3.2. La plaine de l'oued Zied - décharge de Berka Zerga

Les mesure et les prélèvements ont touché 22 puits répartis à travers la plaine de l'oued Zied et au niveau de la décharge. Ces derniers sont utilisés, généralement, pour l'irrigation et l'alimentation du bétail (Fig. 27).



**Fig. 25 : Carte d’inventaire des points d’eaux dans la plaine de L’Oued Zied Mars, 2011**

L’analyse de la carte piézométrique montre que l’allure générale des courbes isopièzes suit le modèle topographique (Fig. 28). Les zones d’alimentation se localisent au Nord et au Nord-Est de la plaine. Elles sont caractérisées par des courbes isopièzes divergentes, donc, à concavité orientée vers l’amont et à faible espacement. Ce dernier indique un écoulement rapide. L’alimentation de la région Nord de la nappe s’effectue à partir des massifs de l’E Edough et de Béllielita. L’écoulement souterrain converge vers le Lac Fetzara. Deux types d’échanges semblent exister entre la nappe et le Lac. Le premier met en évidence une alimentation du Lac par la nappe, quant au second, il montre un drainage de la nappe par l’oued Zied ; véhiculant, de ce fait, tout le panache de la pollution de la décharge vers le lac.

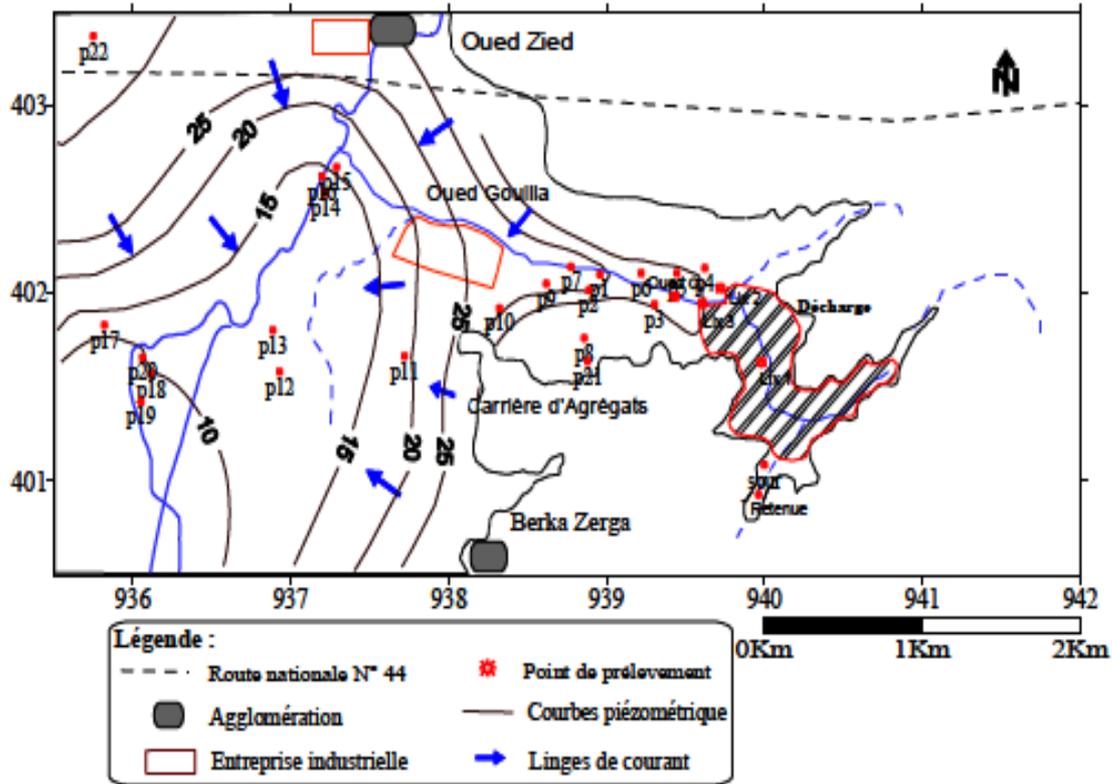


Fig. 26. Carte piézométrique de la plaine de L'oued Zied, Mars, 2011

#### 4. Conclusion

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

Deux nappes aquifères principales s'individualisent :

- L'une superficielle (libre) ; formée de sable fin et gravier d'une épaisseur de l'ordre de 10 à 15m, sa transmissivité est très faible ( $10^{-6}$  à  $10^{-4}$  m<sup>2</sup>/s), sa perméabilité moyenne est comprise entre  $10^{-6}$  et  $10^{-5}$  m/s et le coefficient d'emménagement est de l'ordre de 2 %.
- L'autre profonde ; semi-captive qui devient captive à l'Ouest de la zone d'étude localisée à une profondeur varie de 12 à 80 mètres ; sa transmissivité est comprise entre  $5.10^{-5}$  et  $10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s. L'infiltration représente la principale source d'alimentation de ces aquifères.

L'observation des cartes piézométriques montre que dans les deux secteurs étudiés, la piézométrie est tributaire de plusieurs facteurs: les précipitations, la morphologie, le réseau hydrographique et l'état des nappes.

Le sens de l'écoulement suit, en général, le modèle topographique. L'interaction réseau hydrographique – nappe est fonction des précipitations, c'est-à-dire, pendant les basses eaux, la nappe alimente l'oued alors que pendant les hautes eaux, c'est l'oued qui alimente la nappe.

# **5<sup>eme</sup> CHAPITRE**

## **DIAGNOSTIC DE LA POLLUTION**

## 5<sup>eme</sup> chapitre : Diagnostic de la pollution

### 1. Introduction

Les eaux de la région étudiée sont soumises à une intense pollution due à plusieurs sources. Des cas de pollution ont été détectés au niveau des eaux de surface et souterraines de la plaine de Annaba par Fe(T),  $Mn_2^+$ ,  $NH_4^+$ ,  $PO_4^-$ , Cr(t), Pb  $Sn_4^+$  et  $NO_3^-$  (Louhi, 1996, Djabri, 1996, Debieche, 2002, Fougou, 2008, Lekoui, 2011) sous l'effet des rejets urbains et industriels au niveau de la nappe superficielle) et par l'effet de l'utilisation intensive des engrais chimiques dans l'agriculture.

En effet, une pollution d'origine industrielle a été observée au niveau de la nappe superficielle le long de **l'oued Meboudja**, notamment autour **du complexe sidérurgique Arcelor-Mittal steel**. Un autre type de pollution d'origine urbaine et industrielle a été observé dans la plaine de **l'oued Zied**, due à l'existence de **la décharge publique de Berka Zarga**. Ces zones sont considérées à haut risque de pollution.

### 2. Plaine de l'oued Meboudja

La pollution due aux rejets industriels et urbains est très variés, ses sources potentielles sont :

- Les eaux usées d'origine industrielle chargées en polluants provenant du complexe Arcelor Mittal Steel.
- Les rejets des usines des zones industrielles de Chaiba et Pont-Bouchet
- Les rejets des eaux usées domestiques (habitations, commerce).
- Activités agricoles : L'agriculture et l'élevage sont responsables du rejet de nombreux polluants organiques et inorganiques dans la zone d'étude et proviennent parfois de l'érosion des terres agricoles.

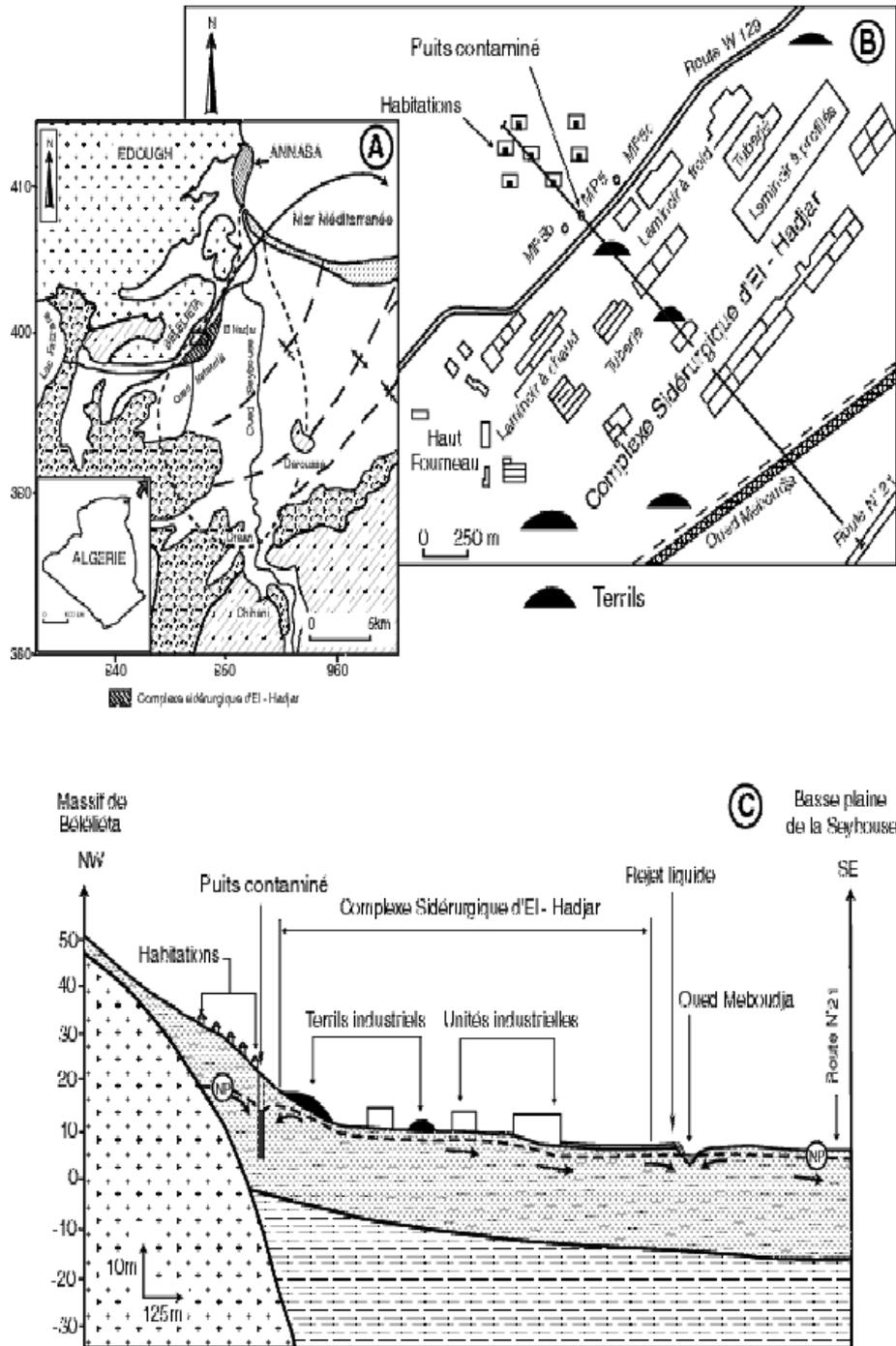
#### 2.1. Présentation du complexe Arcelor Mittal Steel

Le complexe sidérurgique d'El Hadjar est situé à 11 Km au Sud de la ville et du port de Annaba. Il occupe une superficie de 800 hectares qui se répartit approximativement en trois zones :

- \* Les ateliers de production « 300 hectares »
- \* La superficie de stockage « 300 hectares »

\* La surface des services « 200 hectares »

D'autres terrains ont été acquis à proximité du complexe pour l'implantation du crassier de l'usine et comme réserve d'eau brute (Fig.27)



**Fig.27 : Contexte géologique et hydrogéologique du site industriel d'El Hadjar (Debieche T. H., 2002)**

### **2.1.1 Activité du complexe**

Les premières unités ayant débuté la production sont le secteur fente et aggloméré ainsi que la tubaire spirale.

Le programme du complexe visait les objectifs suivant :

- Satisfaction optimale des besoins nationaux.
- Maîtrise des nouvelles technologies.
- Formation du personnel.
- Production ayant un haut niveau d'intégration.
- Substitution de la production nationale à l'importation.

Parmi les principales unités actives au niveau du complexe, l'unité PMA (préparation de minerai et agglomération) qui comprend :

\* Le secteur minerai : dont le rôle est identique en ce qui concerne le minerai acheminé par wagons des mines de l'Ouenza à la station de déchargement.

\* Le secteur Coke et addition

\* Le secteur agglomération qui comprend deux secteurs :

- 1- L'agglomération N°1 mise en service en juin 1961 ayant une capacité de 2100 t/j
- 2- L'agglomération N°2 mise en service en mai 1969 et d'une capacité de 8260 t/j.

### **2.1.2. Les rejets du complexe sidérurgique Arcelor Mittal steel :**

Au cours des cycles de production, les effluents gazeux sont rejetés dans l'atmosphère, d'une part et d'autres parts certains liquides toxiques sont déversés dans l'Oued Meboudja sans aucun traitement préalable (tab. 19). Cette situation crée une pollution atmosphérique et hydrique à titre d'exemple ce complexe rejette annuellement dans l'atmosphère :

- 36890 tonnes de poussières
- 30895 tonnes de CO
- 2260 tonnes de SO<sub>2</sub>
- 3093 tonnes de NH<sub>3</sub>

**Tab.19 : Types et quantité de rejets provenant de l'unité Arcelor Mittal Steel**

(In Merabet N. 2006 d'après, Djebaili, 1977)

| Unité                                     | Type de rejet  | Quantité annuelle   | Milieu récepteur   | Milieu affecté   |
|---|--|---|--|--|
| Laminoir à chaud (LAC)                    | Huiles minérales   | 870 m <sup>3</sup> /an  | Oued Meboudja  | Sol d'agriculture<br>eau d'irrigation                    |
| Aciérie électrique (ACE)                  | Poussières   | 7600 tonnes /an   | Atmosphère   | L'atmosphère<br>Terrain agricole                         |
| Aciérie à oxygène N°1 (ACO <sub>2</sub> ) | Mas à l'Oued<br>poussières   | 1070 tonnes<br>190tonnes /an  | Oued Meboudja  | Sol d'agriculture<br>Eau d'irrigation                    |
| Aciérie à oxygène N°2 (ACO <sub>2</sub> ) | Huiles minérales   | 1925 m <sup>3</sup> /an   | Oued Meboudja  | Sol d'agriculture<br>eaux d'irrigation                   |
| Hauts fourneaux HFX                       | MES<br>Poussières  | 4900tonnes /an<br>8425 tonnes /an   | Atmosphère   | L' Atmosphère<br>Terrains agricoles                      |
| Préparation matières (PMA)                | Poussières<br>Nox<br>CO  | 15120tonnes/an<br>846 tonnes /an<br>308950 t/an   | Atmosphère   | L' Atmosphère<br>Terrains agricoles                      |
| Cokerie                                   | Poussières<br>SO <sub>2</sub><br>NH <sub>3</sub><br>MO<br>CN<br>Phénol | 5644 tonnes /an<br>2260 tonnes/an<br>3093 tonnes/an<br>1220tonnes/an<br>94 tonnes/an<br>660 tonnes/an | Atmosphère<br>Atmosphère<br>Atmosphère<br>Atmosphère<br>O. Meboudja<br>O. Meboudja | L' Atmosphère<br>Terrains agricoles<br>Eaux d'irrigation |

## 2.2.Zones industrielles Meboudja et Pont Bouchet

Le dispositif industriel, beaucoup plus marqué par une prédominance de l'activité sidérurgique et métallurgique compte également plus de 90 PME/PMI activant dans divers domaines notamment la sous-traitance, l'agroalimentaire, la transformation métallique, le bois et ses dérivées. La plupart des effluents industriels de ces unités sont rejetés dans la Meboudja sans traitement préalable (tab. 20).

**Tableau 20** : Inventaire des usines existant dan la région d'étude. Source : Agence des bassins hydrographiques

| CARACTÉRISTIQUES    |                          |  |                               |                                   | ÉPURATION      |
|---------------------|--------------------------|--|-------------------------------|-----------------------------------|----------------|
| Lieu d'implantation | NOM                      | Nature/type  | Vol rejetés m <sup>3</sup> /j | Qualité des rejets                | Point de rejet |
| El Hadjar           | TRANSCANAL EST           | Production de tuyaux en Béton armé                       | 1,5                           | eaux usées industrielles          | réseaux assai  |
| El Hadjar           | SARL E.R.W.A. EST        | Aciérie  | 4,8                           | rejet non polluant                | O. Meboudja    |
| ZI Pt Bouchet       | TREFIL EST ex E.N.T.P.L. | Transformation de produit longs (Acier)                  |                               |                                   |                |
| ZI Pt Bouchet       | SARL PMR FETIMI          | Fabrication de dalles mono couches                       |                               |                                   |                |
| ZI Pt Bouchet       | EPE –ENCC                | Charpente métallique ,Chaudronnerie mécanique et usinage | non calculé                   | eaux usées                        | réseaux assai  |
| ZI Pt Bouchet       | CHOCOTEK                 | Chocolaterie et confiserie                               | 9                             | eaux usées                        | O. Meboudja    |
| ZI Pt Bouchet       | SAT PAP                  | Transformation du Papier                                 | 8                             | //                                | //             |
| ZI Pt Bouchet       | M.T.A                    | Maintenance, transport , transit et agréage              | 3,5                           | eaux usées et pluviales et huiles | O. Meboudja    |
| ZI Pt Bouchet       | E.P.T.R./ EST            | Réalisation de travaux routiers                          | 12                            | eaux de lavage de machine         | réseaux assai  |
| ZI Pt Bouchet       | SIDER G.C.L              | Commercialisation des produits sidérurgique              | 1                             | eaux usées                        | réseaux assai  |
| ZI Pt Bouchet       | E.N.G.I.                 | Production et distribution de Gaz industriel             | 20                            | la chaux et eaux usées            | O. Meboudja    |

|                    |                               |  |                |                       |               |
|--------------------|-------------------------------|--|----------------|-----------------------|---------------|
| ZI Pt Bouchet      | T.M.P.K.<br>(PRIVE) à l'arrêt | Transformation de matière<br>plastique (KHELIFA)                     | Non<br>calculé | eaux usées            | réseaux assai |
| ZI Pt Bouchet      | SARL<br>RHUMELGUM<br>(PRIVE)  | Fabrication de<br>Chewing-gum  | 1              | Eaux usées            | O. Meboudja   |
| ZI Pt Bouchet      | SARL EST<br>(PRIVE)           | Transport Est  | Non<br>calculé | eaux usées+<br>huiles | Fosse         |
| ZI Pt Bouchet      | SOFARM<br>(PRIVE)             | Fabrication articles<br>médicaux                                     |                |                       |               |
| ZI Pt Bouchet      | ETS BAIBA                     | Modelage mécanique   |                | non enquêtée          |               |
| ZI Pt Bouchet      | TARSI                         | Montage de la charpente,<br>chaudronnerie et<br>équipement mécanique |                | non enquêtée          |               |
| Sidi Amar          | Mittal Steel ex (EN<br>Sider) | Sidérurgie   |                |                       |               |
| ZI Meboudja        | S.N.C.<br>C.E.C.C.O.(PRIVE)   | Transformation de papier   |                |                       |               |
| Route de<br>Chaiba | PROCIM ex<br>( Prosider)      | Construction métallique<br>et galvanisation                          |                |                       |               |

## 2.3. Pollution des eaux et des sols

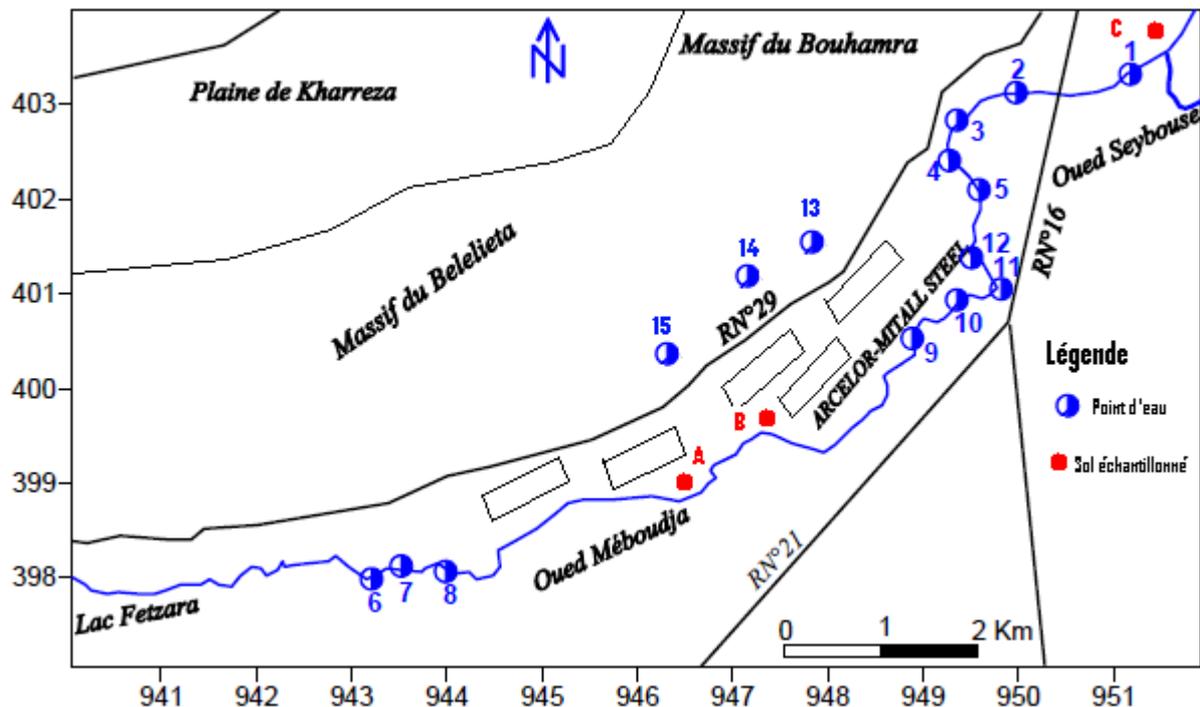
### 2.3.1. Inventaire des points de prélèvement

Pour mieux étudier la présence de pollution industrielle et urbaine, les points d'eau ont été choisis selon une répartition qui couvre toute la zone d'étude ; le long de l'oued Méboudja et autour des installations industrielles (fig.28) :

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

Trois échantillons le long de la route n° RN 21 reliant Sidi Amar à Derradji Redjem.

Au niveau du sol, des analyses chimiques ont été effectuées sur quatre sites alignés selon une direction S-N : les deux premiers à proximité des terrils du complexe sidérurgique, le troisième à la confluence Seybouse – Meboudja et le quatrième en bordure de mer.



**Fig. 28 : Carte d'inventaire des points de prélèvement, plaine Meboudja**

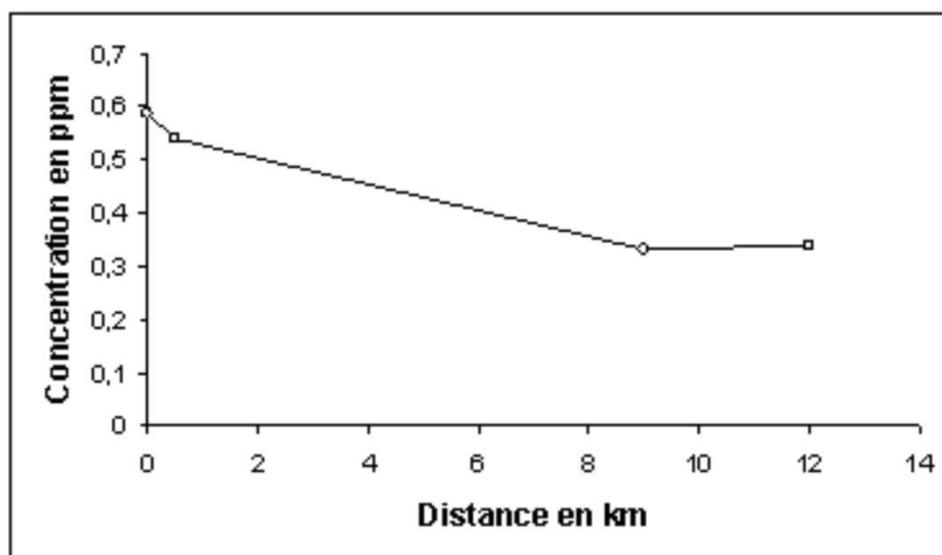
### 2.3.2. Pollution des sols

Pour estimer la concentration d'exposition dans le cadre de l'évaluation détaillée des risques sur la santé humaine, un nombre d'analyses chimiques du sol a été entrepris. Les prélèvements du sol ont été effectués sur plusieurs points de la plaine d'Annaba en tenant compte de la localisation par rapport à la source potentielle de pollution, de la végétation, etc. L'échantillonnage et le dosage ont été effectués selon les protocoles décrits par AFNOR (2005) et J. Rodier (1996).

Au niveau du sol, des analyses chimiques ont été effectuées sur quatre sites alignés selon une direction S-N: les deux premiers à proximité des terrils du complexe sidérurgique, le troisième à El-Bouni et le quatrième en bordure de mer. Les résultats obtenus montrent une décroissance assez nette des valeurs du chrome qui passent de 0,59 à 0,34 mg/l du Sud vers le Nord (tableau 21 et fig. 29).

**Tab.21 : Concentration du Chrome dans le sol (ppm) ; (Djorfi, S. 2008)**

| Echantillons | Intensité émise moyenne | Concentration obtenue (ppm) | Ecart-type | incertitude |
|--------------|-------------------------|-----------------------------|------------|-------------|
| B1           | 970,25                  | 0,540                       | 0,013      | 0,020       |
| B2           | 1002,25                 | 0,587                       | 0,006      | 0,009       |
| B3           | 829,00                  | 0,331                       | 0,007      | 0,011       |
| B4           | 869,00                  | 0,390                       | 0,009      | 0,014       |



**Figure 29. Evolution des valeurs du chrome dans le sol depuis le complexe sidérurgique jusqu'à la mer.**

### 2.3.3. Pollution des eaux

L'étude réalisée s'intéresse à l'influence des rejets liquides d'origine industrielle et urbaine sur la qualité des eaux de la nappe phréatique et de l'oued Meboudja. Les analyses effectuées ont porté sur les variables suivantes : température, pH, conductivité électrique, DBO5, DCO, TH, Cr, Pb, Fe total, Cu et Ni.

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

Les résultats des analyses hydrochimiques effectuées sur la nappe, l'oued et le sol montrent un risque de pollution par les métaux (tab.22).

**Tableau 22. Caractéristiques physico chimiques des eaux de la nappe superficielle. Ds : écart type ; CE : conductivité électrique ; les teneurs chimiques en mg.l<sup>-1</sup>. (Djorfi, 2008)**

| Variabiles       | Min  | Max  | Moy   | Ds    | Variable                  | Min  | Max   | Moy   | Ds    |
|------------------|------|------|-------|-------|---------------------------|------|-------|-------|-------|
| T(°C)            | 19.8 | 25.7 | 22.9  | 1.64  | NO <sub>3</sub>           | 0    | 296   | 43.85 | 64.12 |
| pH               | 6.88 | 8.4  | 7.4   | 0.31  | NO <sub>2</sub>           | 0.07 | 0.73  | 0.25  | 0.21  |
| hE (mV)          | 238  | 416  | 356   | 32    | PO <sub>4</sub>           | 0.11 | 1.72  | 0.50  | 0.45  |
| Si               | 4.2  | 12.2 | 7.16  | 1.95  | NH <sub>4</sub>           | 0    | 4.5   | 0.18  | 0.77  |
| Ca               | 44   | 746  | 209   | 156   | CE (µS.cm <sup>-1</sup> ) | 558  | 20333 | 3222  | 3592  |
| Mg               | 12   | 495  | 78.5  | 94.3  | Cr(T)                     | 0.02 | 15.0  | 0.07  | 0.21  |
| Na               | 35   | 3670 | 419.8 | 642.6 | Mn                        | 0    | 2.48  | 0.13  | 0.46  |
| K                | 1    | 56   | 8.7   | 13.2  | Fe(T)                     | 0.01 | 2.81  | 0.22  | 0.61  |
| Cl               | 48   | 6274 | 658   | 1148  | Ni                        | 0.02 | 0.55  | 0.1   | 0.10  |
| SO <sub>4</sub>  | 60   | 883  | 204   | 147   | Sn                        | 0    | 0.24  | 0.03  | 0.04  |
| OHC <sub>3</sub> | 188  | 610  | 416   | 108   | Al                        | 0    | 0.06  | 0.02  | 0.01  |
| F                | 0.05 | 1.62 | 0.62  | 0.40  | Sr                        | 0.3  | 6.8   | 1.5   | 1.3   |

## 2.4. Interprétation des résultats

La comparaison des valeurs obtenues par rapport aux normes de l'OMS pour l'eau potable et algériennes pour les rejets (tab. 23 et 24) montrent que la plupart des points étudiés se caractérisent par des concentrations excessivement élevées.

**Tableau.23 : Les lignes directrices de l'OMS sur la qualité de l'eau potable**

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

**Tableau.24 : Normes algériennes des rejets**

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

#### **2.4.1. La température des eaux**

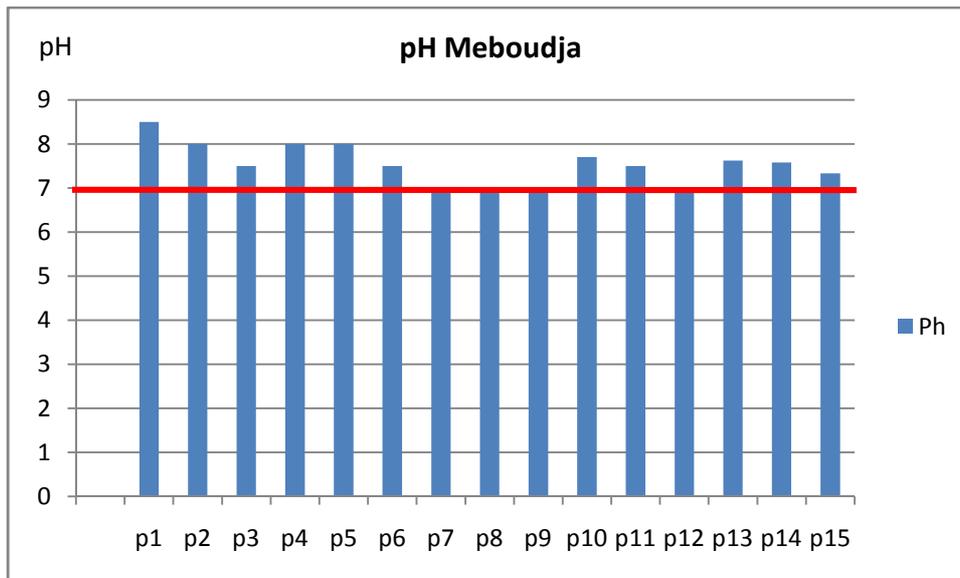
Elle joue un rôle important dans l'augmentation de l'activité chimique, bactérienne et l'évaporation des eaux ; elle varie en fonction de la température extérieure (l'air), des saisons, de la nature géologique et de la profondeur du niveau d'eau par rapport à la surface du sol.

Les valeurs mesurées de la température oscillent entre 22 et 24.9°C. Ces valeurs n'ont pas un rôle dans la toxicité des eaux, en prétendant qu'elles sont inférieures à la norme de potabilité (Norme < 25°C).

#### **2.4.2. Le pH**

Il est en fonction de  $\text{HCO}_3^-$  ou  $\text{H}^+$  ; autant dire, est un paramètre qui détermine l'acidité ou l'alcalinité d'une eau ainsi que l'état d'équilibre des éléments chimiques (Fig. 30)

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



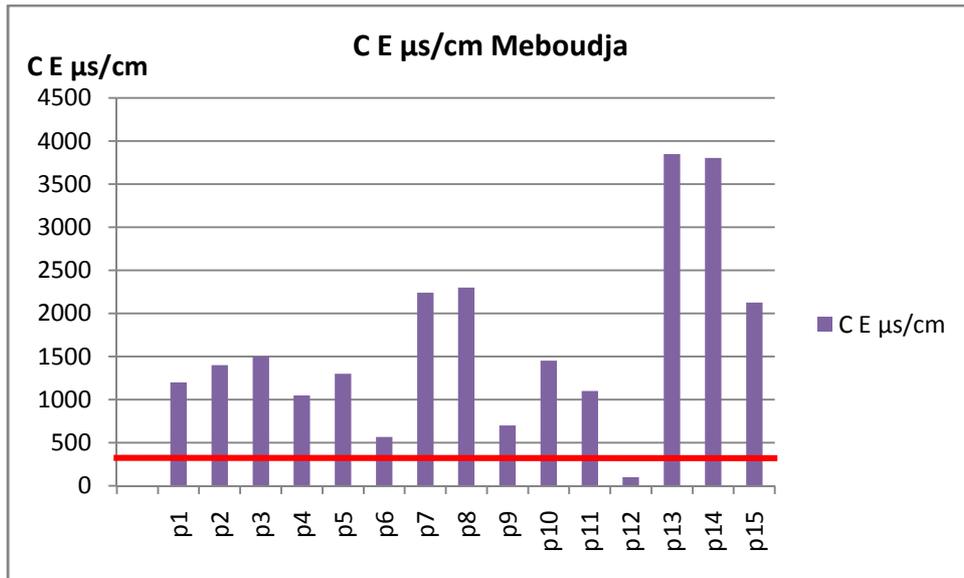
**Fig.30. Evolution spatiale du pH des eaux de la plaine de la Méboudja**

### 2.4.3. La conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique (Fig. 31) permet d'avoir une idée de la salinité de l'eau. Une conductivité élevée traduit soit des pH anormaux, soit une salinité élevée. Pour l'eau d'alimentation la valeur guide est de 400  $\mu\text{S}$ .

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

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

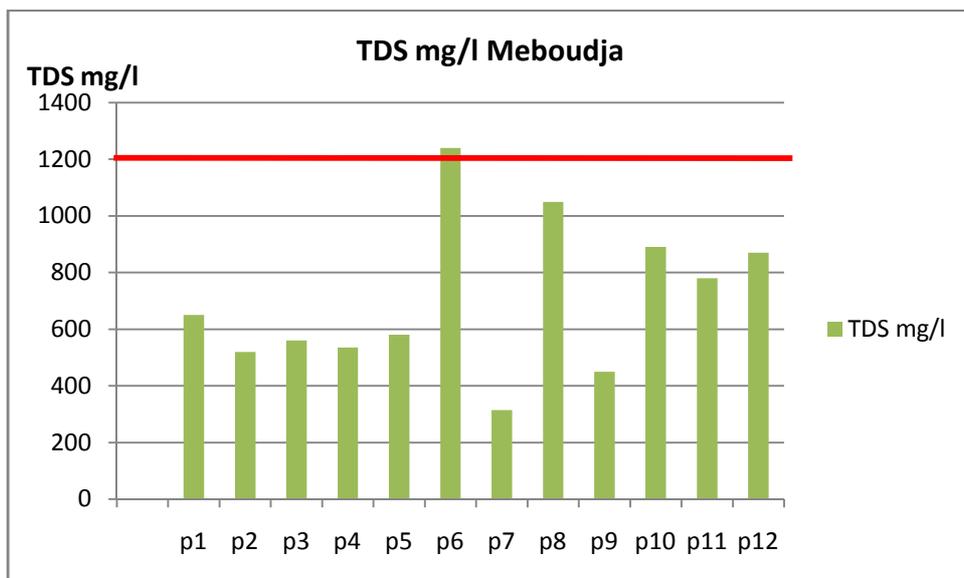


**Fig. 31 : Evolution spatiale de la conductivité électrique des eaux plaine de la Meboudja**

#### 2.4.4. Solide total dissous (TDS)

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

Le diagramme de la variation des concentrations (Fig. 32) montre que les fortes teneurs en TDS se localisent dans la partie amont (Derradji Rdjem) et sont représentées par les échantillons 6 et 8 dont les concentrations correspondantes sont de 1240 et 1050 mg/l. L'échantillon N° 7 présente la valeur minimale du TDS, elle est de 314 mg/l.



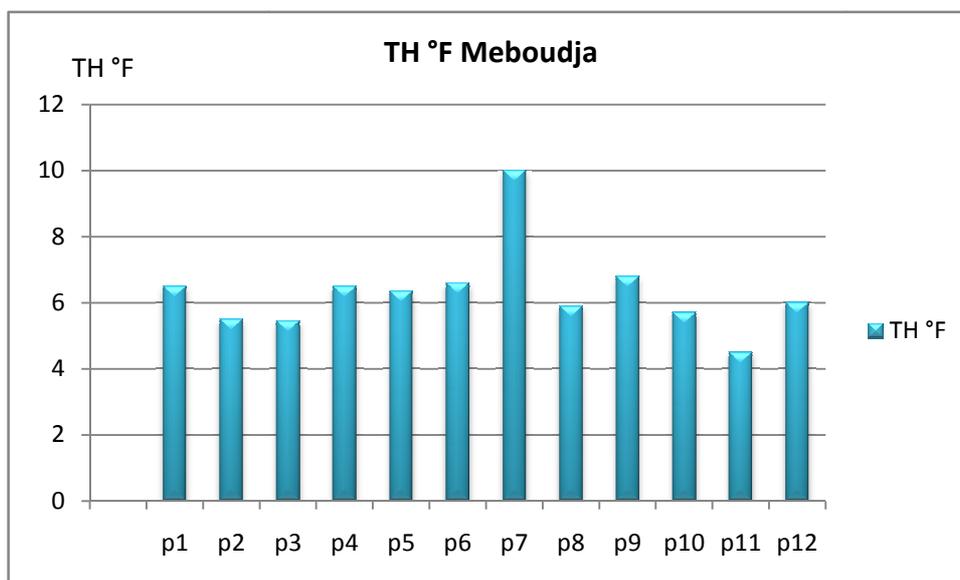
**Fig. 32: Variation spatiale du TDS des eaux de la plaine de la Méboudja**

### 2.4.5. La dureté totale (TH)

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

Ce paramètre ne fait pas l'objet de normes strictes. Il varie le plus souvent entre 10 mg/l et 500 mg/l. La valeur de 100 mg/l est couramment atteinte. Avec l'intervention d'autres facteurs (pH, alcalinité), une dureté de plus de 200 mg/l peut entraîner l'entartrage des canalisations et des appareils de chauffage. A l'inverse, une dureté trop faible (inférieure à 100 mg/l) ne permet pas la formation d'une couche carbonatée protégeant les canalisations de certains risques de corrosion. Cependant, on peut considérer qu'une eau ayant une teneur inférieure à 75 mg/l de CaCO<sub>3</sub> ou à 30 mg/l de calcium est une eau douce et qu'au dessus, il s'agit d'une eau dure (J. Rodier et coll., 2005).

Les eaux de la région de point de vue dureté ne sont pas dures, ils ont une dureté comprise entre 3 et 6°F sauf pour le point 7 qui a une dureté de 10°F (fig.33).



**Fig. 33: Variation spatiale du TH des eaux de la plaine de la Méboudja**

### 2.4.6. La DBO<sub>5</sub>

L'oxydation des composés organiques biodégradables par des micro-organismes entraîne une consommation d'oxygène, donc la mesure de ce paramètre permet d'évaluer la qualité d'une eau ou son degré de pollution. La dégradation complète des matières

organiques peut être relativement longue, d'autre part l'oxydation des dérivés ammoniacaux et des nitrites en nitrates absorbe également de l'oxygène.

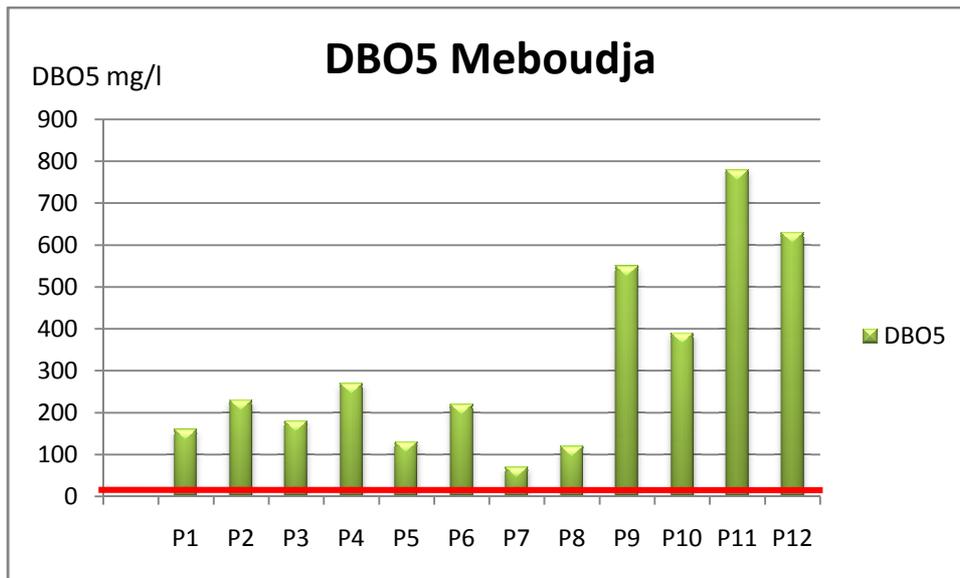
Les valeurs de la DBO5 varient selon les types d'eaux :

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

Les phénomènes d'autoépuration dans les eaux superficielles entraînent la dégradation de la charge organique polluante par les micro-organismes. L'activité de ces derniers tend à consommer de l'oxygène et c'est cette diminution de l'oxygène dans le milieu qui est mesurée par la DBO5. En effet, à 20° C la dégradation des matières organiques commence immédiatement. Il a été conventionnellement retenu d'exprimer la DBO5 en mg/l d'oxygène consommé pendant 5 jours à 20°C.

Dans notre cas (fig.34), les fortes teneurs de la DBO5 sont observées surtout au niveau du point 11 (rejet ARCELOR MITALLSTEEL).

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

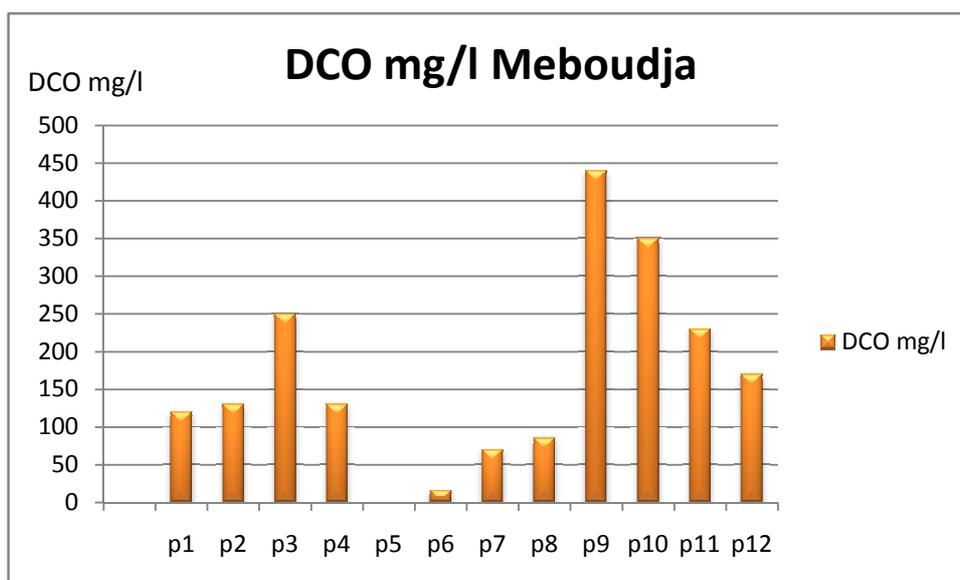


**Fig.34 : Evolution spatiale de la DBO<sub>5</sub> des eaux de la plaine de la Méboudja**

#### 2.4.7. Demande Chimique en Oxygène (DCO)

La demande chimique en Oxygène (DCO) est la quantité d'Oxygène consommée par les matières existantes dans l'eau et oxydables dans des conditions opératoires définies.

Nous remarquons d'après la figure (Fig.35) que les valeurs de DCO sont relativement élevées par rapport à la norme préconisée par l'OMS. La valeur minimale est de 15.84 mg/l, elle est enregistrée au niveau de l'effluent N° 6 à l'aval de l'oued Méboudja ; cependant, la Valeur maximale est observée au niveau de l'effluent N° 9 à la sortie de l'usine sidérurgique (ARCELOR MITALL STEEL), elle est de 440.8 mg/l.



**Fig.35 : Carte de la DCO des eaux de la Méboudja**

## 2.4.8. Les métaux lourds

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

### 2.4.8.1. Le Chrome (Cr)

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

Dans la zone d'étude, on remarque (Fig. 36) que tous les points de prélèvement ont des teneurs en Chrome supérieures à la norme (0.05mg/l) ; le maximum est de l'ordre de 14mg/l au point (11). Ces fortes valeurs sont liées à l'effet des rejets surtout industriels et urbains.

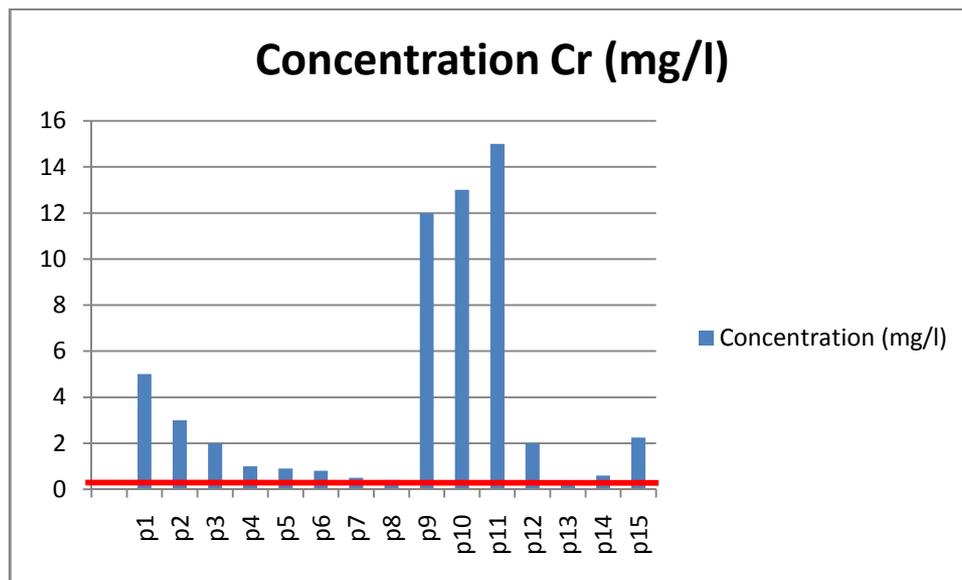


Fig.36 : Evolution du Cr des eaux de la plaine de la Meboudja

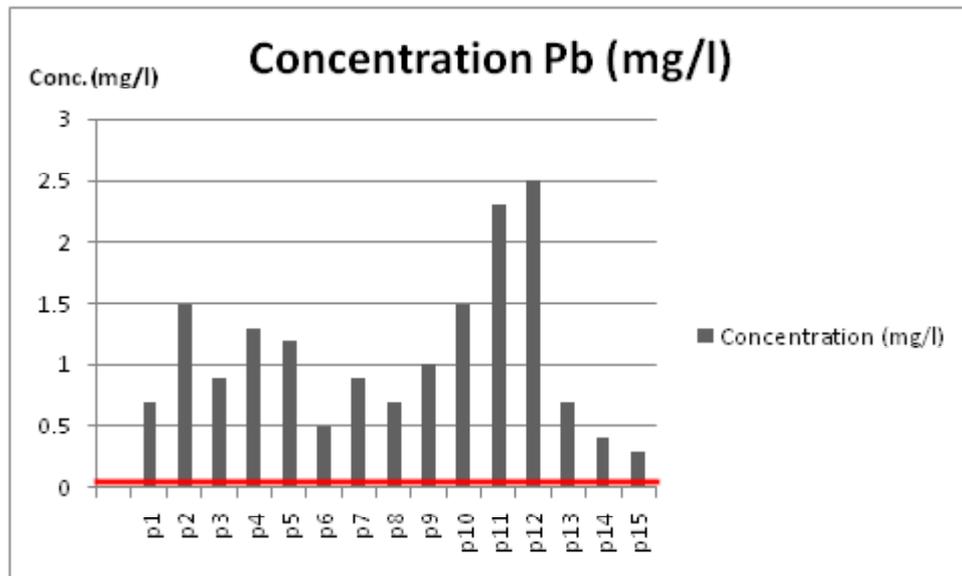
### 2.4.8.2. Le Plomb (Pb)

En dehors des zones des gisements plombifères, le plomb est un constituant naturel largement répandu dans la croûte terrestre. La norme fixée par l'OMS est de 0.01 mg/l

Le plomb est concentré dans les gisements de sulfures où il est communément rencontré sous forme de galène (PbS). Il peut être également rencontré sous la forme

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

Dans notre cas (Fig.37), Le Plomb présente des teneurs supérieures à la norme (0.01mg/l) au niveau de tous les points de prélèvement ; elles sont comprises entre 0.0685mg/l (point 8) et 2.1764mg/l. Ces concentrations très importantes du Plomb proviennent de sa fréquente utilisation dans l'industrie : la fabrication de la soudure, des pigments, des batteries, des gaines des câbles électriques,...etc.

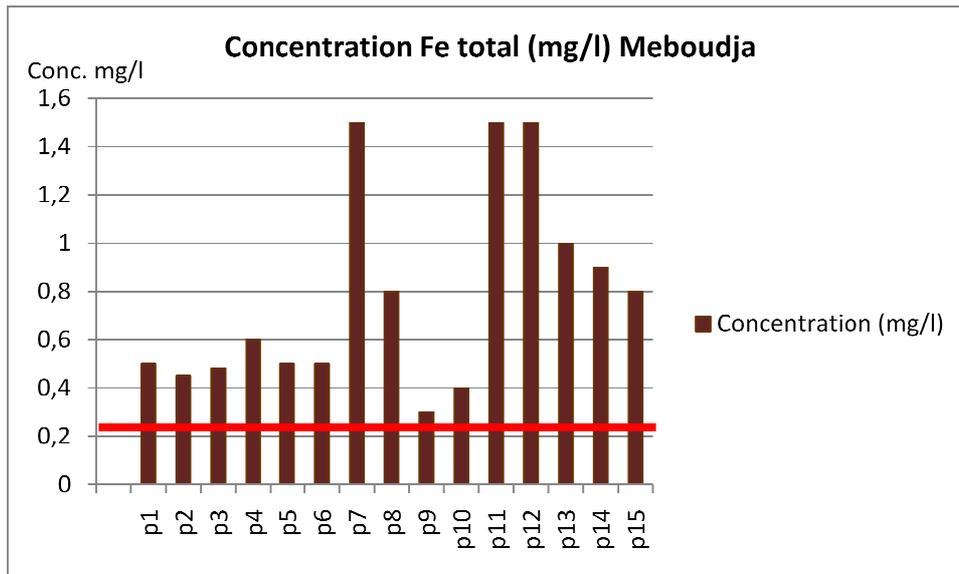


**Fig. 37 : Evolution spatiale du Pb des eaux de la plaine de la Meboudja**

### 2.4.8.3. Le Fer total (Fe. T)

Les teneurs en cet élément sont assez fortes, allant de 0.420mg/l en amont (point 6) à 1.5mg/l à la sortie de l'usine ARCELOR MITALL STEEL (points 11 et 12) indiquant ainsi une pollution de ces eaux (Fig.38).

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



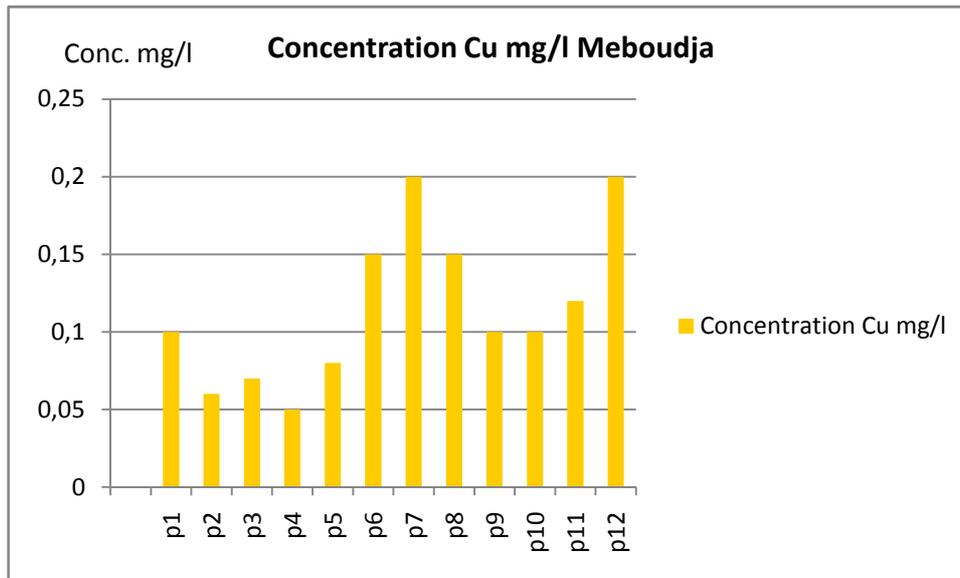
**Fig.38 : Evolution du Fer Total des eaux de la plaine de la Meboudja**

#### 2.4.8.4. Le Cuivre (Cu)

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

Le cuivre est retenu dans les sols par des mécanismes d'échanges et d'adsorption. Aux concentrations retrouvées dans les sols naturels, les précipités de cuivre sont instables. Cavallaro et McBride (1978), ont suggéré qu'une phase minérale argileuse pouvait servir de stock au Cuivre dans des sols non calcaires. Dans des sols calcaires, l'adsorption spécifique du cuivre sur des surfaces de  $\text{CaCO}_3$  peut contrôler les concentrations en cuivre en solution (Cavallaro et McBride, 1978 ; Dudley *et al.*, 1988, 1991).

Dans la région d'étude, les concentrations sont très faibles dans la plupart des points de prélèvement (Fig.39), elles sont inférieures à la norme (2mg/l) et varient de 0.013mg/l (point 8) à 0.153mg/l (point 7). La présence de cet élément est due essentiellement aux rejets industriels et à la géologie.



**Fig.39 : Evolution spatiale du Cu des eaux de la plaine de la Meboudja**

#### 2.4.8.5. Le Nickel (Ni)

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

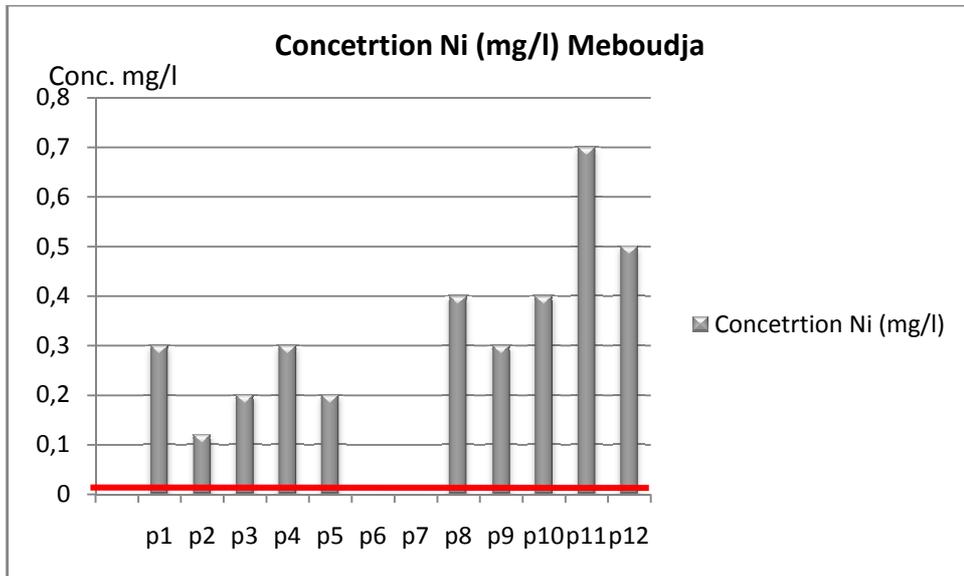
La concentration en nickel des roches sédimentaires serait de l'ordre de 20 à 40 mg/kg, elle dépasserait 100 mg/kg dans les roches volcaniques. Dans la nature, le nickel est principalement associé au manganèse et aux oxydes de fer. Il possède un comportement chalcophile et en présence d'ions  $HS^-$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

- En se substituant au  $Fe^{2+}$  dans la pyrite ( $FeS_2$ ),
- En co-précipitant avec  $Fe^{2+}$  dans la pentlandite ( $Fe, Ni_9S_8$ ),
- En co-précipitant avec  $Fe^{2+}$  et  $Cu^{2+}$  dans la chalcopyrite ( $CuFeS_2$ ),
- Sous forme de vaesite ( $NiS_2$ ) ou de millerite ( $NiS$ ).

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

Les résultats des analyses du Nickel (Fig.40) montrent que les échantillons prélevés au niveau des points 6 et 7 ont des concentrations presque nulles (sous forme de traces) alors qu'au niveau des autres points (8, 9, 10, 11 et 12) situés à la sortie de l'usine ARCELOR

MITALL STEEL, les valeurs dépassent largement la norme (0.02mg/l), elles oscillent entre 0.130mg/l et 0.70mg/l. Ces teneurs sont principalement dues aux rejets industriels.



**Fig. 40 : Evolution spatiale du Ni des eaux de la plaine de la Meboudja**

## 2.5. Conclusion

L'examen hydrochimique a mis en évidence la sensibilité des eaux de la plaine de la Meboudja aux apports qui se font sous différentes formes : rejet sidérurgiques et urbains.

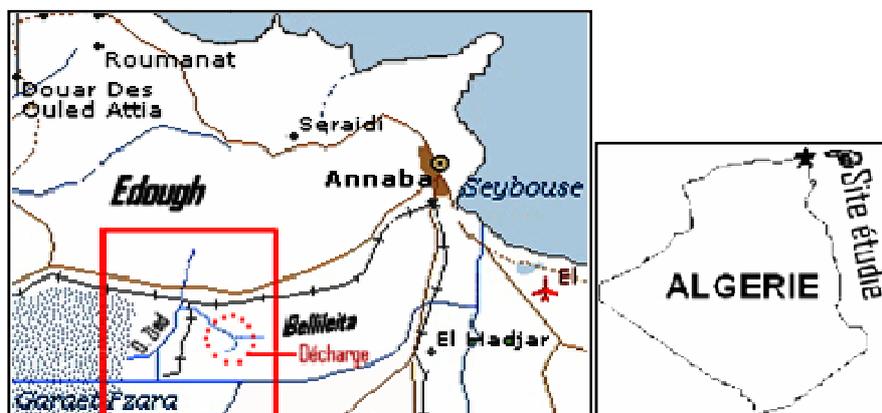
Les analyses chimiques effectuées sur la zone d'étude ont révélé que les eaux sont polluées par des métaux lourds toxiques (Cr, Pb, Sn, Mn, fer), Ces éléments dont les concentrations sont supérieures aux normes de potabilité, leur origine est liée aux ateliers de traitement de surface.

## 3. Plaine de l'oued Zied – la décharge de Berka Zarga

### 3.1. Présentation de la décharge de Berka Zarga

La décharge publique d'Annaba (Berka Zerga), servant de dépotoir aux communes d'El-Bouni, Annaba, Sidi Amar et El-Hadjar, est l'une des nombreuses décharges non contrôlées de l'Algérie. Le site reçoit près de 500 tonnes/jour de déchets solides d'origines urbaine et industrielle stockés directement sur le sol. Elle est située à 15 km à l'ouest de la ville d'Annaba (fig.41), dans un environnement très vulnérable (proximité du lac Fetzara, présence d'un réseau urbain assez dense, activité agricole intense. La décharge occupe la vallée de l'oued Gouilla qui débouche sur la plaine alluviale de l'oued Zied. Les eaux de surface et le

lixiviats qui s'écoulent sur la zone de la décharge se jettent dans l'oued Zied, qui débouche dans le lac Fetzara, un écosystème protégé, depuis 2006, par la convention de Ramsar.



**Figure. 41: Situation géographique de la décharge de Annaba**

### 3.2. Caractérisation des rejets de la décharge

Les déchets collectés et rejetés dans la décharge de Annaba sont généralement répartis comme suit :

- Déchets ménagés et assimilés (déchets de nettoyage, déchets de jardinage les déchets provenant des écoles, caserne set de tous les bâtiments publics déposés dans des récipients, sac ou en vrac déchets lies à l'automobile, déchets de travaux de jardinage, sable, pierre, terre,...)
- Déchets provenant d'ateliers et de commerce (déchets assimilables aux déchets ménagers) : les cartons les bouts de tissus etc....
- déchets industriel (déchets assimilables aux ordures ménagères, déchets inertes, déchets de l'industrie agro-alimentaire, déchets toxiques) ;
- Déchets ménagers provenant des ménages (les ordures ménagères proprement dite) : les déchets ordinaires provenant de la préparation des aliments et du nettoyage des habitations, débris de verre ou de vaisselle, cendres, feuilles, chiffons et déchets de balayage.

#### 3.2.1. Nature des déchets

La caractérisation des déchets contribue à connaître les constituants majeurs du déchet qui ont une importance capitale sur la variation de déchet ou de son traitement.

La première difficulté dans la caractérisation des déchets est le choix de l'échantillon sa taille, le nombre d'échantillons nécessaires pour s'assurer de la représentativité de l'échantillon et des données d'analyse. La deuxième difficulté réside dans les techniques d'analyse actuelles.

La procédure d'échantillonnage sont basées sur l'obtention d'un nombre suffisant de prélèvement de manière réellement aléatoire afin d'avoir des données reproductibles avec des niveaux de confiance élevé. La planification de ce prélèvement est réalisée en collaboration avec le responsable de la collecte et de la mise en décharge des déchets tout en délimitant les zones géographiques où le caractère des déchets tend à différer. Ces zones peuvent comprendre des immeubles, résidence individuelles, campus, appartements, HLM, ou autres zones d'activités socio-économiques.

La composition est le terme utilisé pour décrire les composants que forme une catégorie de déchet et leurs relatives distribution, souvent basée sur le pourcentage en poids. L'information sur la composition des déchets solides est très importante dans l'évaluation en besoin d'équipements, de systèmes et de plan de gestion.

En l'absence de travaux de tri et de quantification des déchets de la décharge de Annaba, on s'est basé sur la documentation nationale et internationale pour faire la lumière sur la composition, la nature des déchets de la décharge de Annaba. Dans ce qui va suivre, pour des similitudes socioéconomiques géographiques et démographiques entre Annaba et Alger, on va prendre en considération la composition à l'échelle nationale et les caractéristiques de la décharge d'Alger (tab. 25, 26).

**Tableau. 25 : composition des déchets au niveau national en % (d'après Mehdi M. 2008)**

|                     | Tiaret 2005  | Sougueur en 2000 | Sétif en 1999 | Djelfa en 2001 | Alger en 1994 | Nationale en 1983 |
|---------------------|--------------|------------------|---------------|----------------|---------------|-------------------|
| Matières organiques | <b>73,99</b> | <b>73,6</b>      | <b>66,7</b>   | <b>78,66</b>   | <b>74,4</b>   | <b>77,26</b>      |
| Papier, carton      | <b>11,57</b> | <b>11,46</b>     | <b>12,2</b>   | <b>6,66</b>    | <b>11,5</b>   | <b>9,82</b>       |
| Plastiques          | <b>11,09</b> | <b>6,66</b>      | <b>9,65</b>   | <b>8,86</b>    | <b>7,3</b>    | <b>2,6</b>        |
| Chiffons            | <b>3,45</b>  | <b>3,33</b>      | <b>3,6</b>    | <b>0,33</b>    | <b>2,3</b>    | <b>2,02</b>       |
| Métaux              | <b>1,46</b>  | <b>0,66</b>      | <b>1,75</b>   | <b>1,33</b>    | <b>1,3</b>    | <b>2,8</b>        |

|                       |             |             |             |             |            |             |
|-----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|-------------|
| Verres                | <b>0,71</b> | <b>0,06</b> | <b>1,25</b> | <b>2</b>    | <b>0,8</b> | <b>1,01</b> |
| Cuir                  | -           | -           | -           | -           | -          | <b>1,34</b> |
| Bois                  | <b>0,32</b> | -           | <b>0,35</b> | <b>0,26</b> | <b>0,8</b> | <b>1,34</b> |
| Os et déchets animaux | -           | -           | <b>1,8</b>  | -           | <b>0,3</b> | -           |
| Gravats               | <b>0,40</b> | -           | <b>2,7</b>  | -           | <b>0,6</b> | -           |

**Tableau. 26 : Comparaison des caractéristiques des déchets au niveau international (d'après Mehdi M. 2008)**

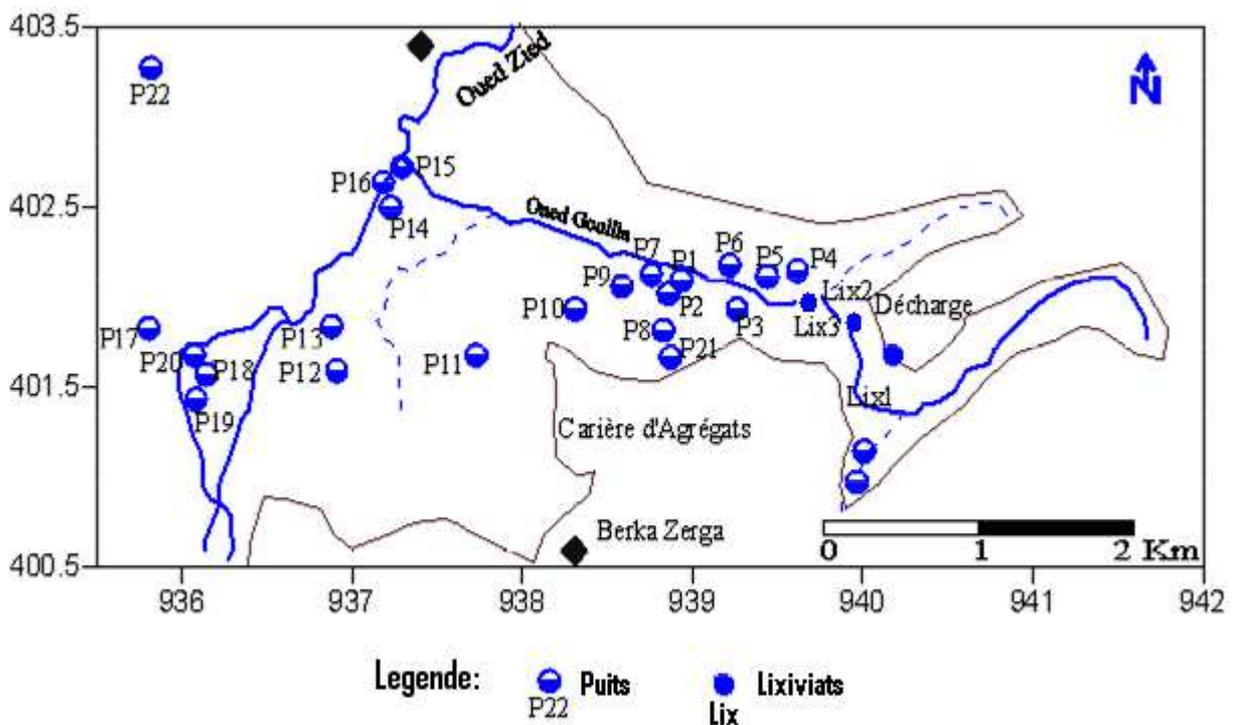
| Paramètres              | Tiaret    | Londres | Rome | Paris | Alger | Rabat | Istanbul | Ouaga-dougou |
|-------------------------|-----------|---------|------|-------|-------|-------|----------|--------------|
| Kg/h/j                  | 0,45      | 0,90    | 0,69 | 1,20  | 0,70  | -     | -        | -            |
| Densité                 | 0,33-0,35 | 0,11    | -    | 0,10  | 0,25  | -     | 0,33     | 0,30         |
| Humidité (%)            | 63,54     | 31      | 45   | 31    | 66    | 66    | -        | 45           |
| PCI (mth/kg)            | 1685      | 2000    | -    | 2000  | 972   | -     | -        | -            |
| C/N                     | 28,74     | >35     | >35  | >35   | 43    | <28   | <28      | <28          |
| Mat. Org. (alimentaire) | 73,99     | 28      | 38,5 | 15,4  | 79,86 | 65    | 60,8     | 60           |
| Papier/carton           | 5,07      | 37      | 18,8 | 35,3  | 12,50 | 22    | 10,1     | 2            |
| Textiles                | 3,45      | 2       | 3    | 4,8   | 1,28  | 1     | 3,1      | 0,5          |
| Autres Mat. Org*        | 1,44      | -       | 6,8  | 3,6   | 0,83  | 1     | 6,1      | 1            |
| Inertes                 | 0,40      | 15      | 3,6  | 1,7   | 0,69  | 7,8   | 3,3      | 4,8          |
| Verre /porcelaine       | 0,71      | 8       | 5    | 11,7  | 1     | 0,5   | -        | 2            |

### 3.3. Pollution des eaux

#### 3.3.1. Echantillonnage et méthodes d'analyses

La température (T), la conductivité électrique (CE) et le pH ont été mesurés in situ en utilisant un multiparamètre WTW (multiligne P3 PH/LF-SET) et un Oxymètre (WTW) avec une sonde (CellOx 325) pour la mesure de l'oxygène dissous. L'analyse des éléments en traces s'est effectuée à l'aide d'un spectrophotomètre Photolab Spektral de marque WTW.

Les analyses effectuées se rapportent aux eaux prélevées dans la plaine dans les puits captant la nappe, dans l'oued Gouilla, l'oued Zied, et dans trois points caractérisant les lixiviats de la décharge elle-même (Fig. 42).



**Fig. 42 : Carte d'inventaire des points d'eaux, plaine de l'oued Zied**

### 3.4. Résultats et interprétation

Les résultats montrent une importante charge polluante véhiculée par les lixiviats de la décharge (Fer = 1243,89 mg/l, CE = 33220  $\mu$ S/cm).

Le traitement des résultats des analyses chimiques par différentes méthodes (diagrammes, cartographie...) a 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 supérieure à 5 mS/cm ; 7.51 ; 3.26 ; 0.63 ; 25.23 et 9.43 mg/l respectivement pour le zinc, chrome plomb, cuivre et le fer. Ces concentrations dépassent, largement, les valeurs standards pour l'eau potable (tab.27).

**Tableau. 27 : Comparaison des normes de l’OMS et des concentrations des lixiviats et des eaux souterraines de la zone d’étude**

| Eléments | Normes recommandés (mg/l) par l’OMS |        | Concentration (mg/l) Zone d’étude |                  |
|----------|-------------------------------------|--------|-----------------------------------|------------------|
|          | Eau de consommation                 | Rejets | Eau s/terrain                     | Lixiviats        |
| Cr       | 0.05                                | 2      | 0.03 - 3.26                       | 2.39 - 9.13      |
| Cu       | 1.0                                 | 0,6    | 4.05 - 26.74                      | 256.75 - 512.74  |
| Pb       | 0.01                                | 4      | 0.03 - 0.83                       | 0.98 - 2.46      |
| Fe       | 0.3                                 | 10     | 0.08 - 10.13                      | 978.79 - 1243.89 |
| Zn       | 3.0                                 | 7      | 2.19 - 7.51                       | 6.4 - 56.01      |

### 3.4.1. La température

La température varie entre 15.1°C et 23,2°C, le maximum est observé au point P9 durant le mois d’Octobre, le minimum au point P16 durant le mois de Février. La température de l’eau des puits et des lixiviats augmente en général en passant de Février vers Octobre.

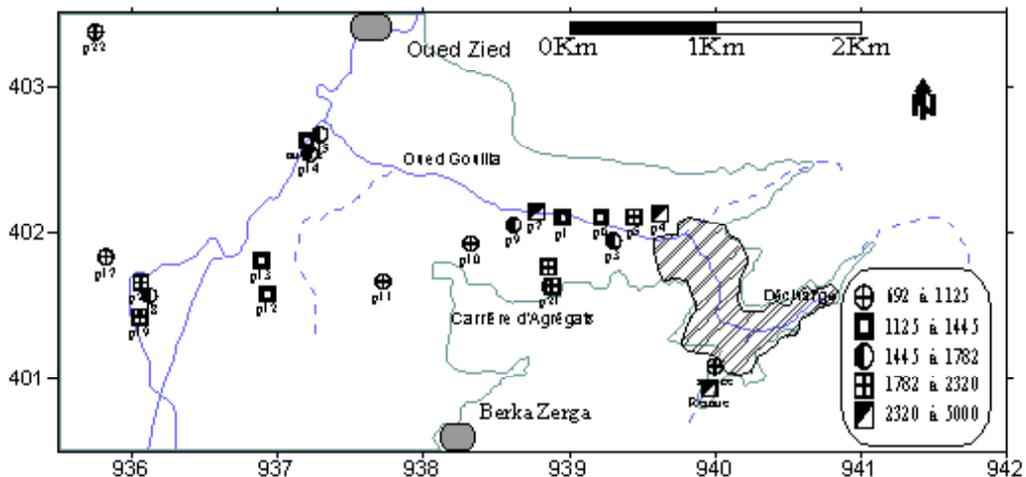
### 3.4.2. Le pH

Les valeurs du pH varient entre 6,21 et 8,33 pour les eaux de la nappe, le pH le plus acide est mesuré au point P1 pendant le mois d’octobre alors que le pH le plus basique est mesuré au point P16 pendant le même mois. Pour le pH des lixiviats, il est trop basique ; le maximum est observé au point Lix.2 durant le mois de Juin, le minimum au point Lix.3 en Février.

### 3.4.3. La conductivité électrique (CE)

La valeur maximale de la conductivité est enregistrée au point P19 au centre de la plaine avec 4250  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (effet de la stagnation des eaux), le minimum est enregistré au point dénommé source, à l’amont de la décharge (692  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Au niveau des points qui se trouvent dans la zone limitrophe de la décharge (P7, P2, P1, P6, P3, et P5), la CE est élevée, mais elle diminue progressivement en s’éloignant de la décharge.

La conductivité des lixiviats est relativement forte ce qui induit une dégradation importante de la qualité des eaux de la nappe, car ces lixiviats sont déversés directement dans les eaux de l’oued Gouilla. Les valeurs les plus faibles sont observées au point Lix3 avec 2160  $\mu\text{S}/\text{cm}$  et la plus forte valeur est enregistrée au point Lix2 avec 4937  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (fig.43).



**Fig. 43 : Carte des conductivités ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), Campagne de juin 2010**

### 3.4.4. Les métaux lourds

Les concentrations obtenues dans les puits limitrophes de la décharge sont très élevées et dépassent largement les normes de rejets.

#### 3.4.4.1. Le Plomb

Les valeurs relevées témoignent d'une contamination irrégulière et parfois importante des eaux de la nappe. En effet, la valeur minimale de 0,03 mg/l est enregistrée au niveau du point P15, la valeur maximale de 0,83 mg/l est enregistrée au niveau du point P16.

Pour les lixiviats la teneur minimale de 0,98 mg/l est enregistrée au niveau du point Lix.3, le maximum 2,46 mg/l est enregistré au niveau du point Lix.2 (Fig.44). On constate que même les teneurs en plomb des lixiviats dépassent largement les normes des rejets des effluents.

L'analyse détaillée des teneurs en Pb montre que les faibles valeurs ont été enregistrées au niveau des points situés dans le centre de la plaine, loin de toute source de pollution, tandis que les concentrations les plus élevées ont été relevées au niveau des points situés à proximité de l'Oued Zied ou à côté de la décharge (P16, P1, P3, P5, P6, P7 et P9).

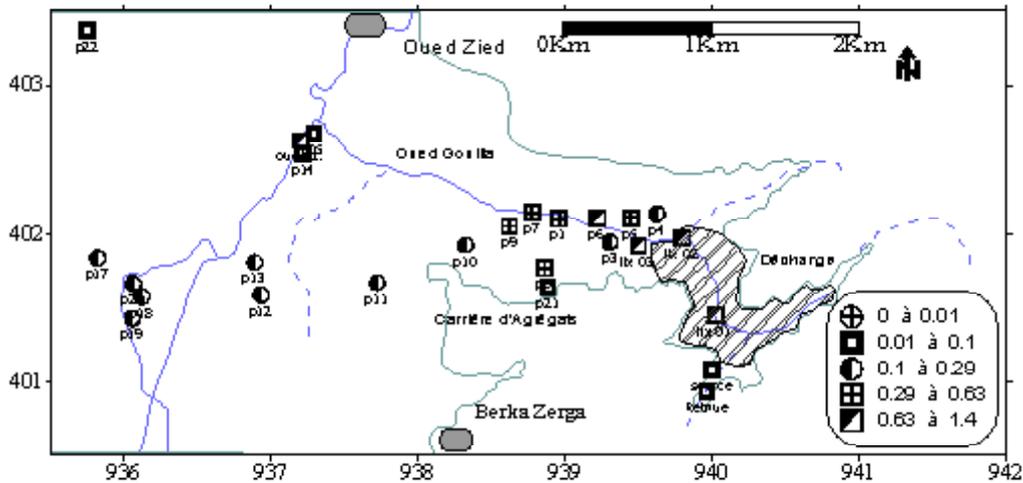


Figure. 44 : Carte des teneurs en Pb (mg/l), Campagne de juin 2010

### 3.4.4.2. Le Zinc

Les teneurs en zinc indiquent des concentrations importantes particulièrement au niveau des points P3, P4, P7, P5 et P9, avec respectivement des valeurs de 7,51 mg/l ; 2,59 mg/l ; 2,77 mg/l ; 4,64 mg/l ; et 2,19 mg/l. Ces points se trouvent à proximité de la décharge, ce qui explique ces fortes teneurs. Pour les autres points, les valeurs oscillent entre 0,01 mg/l et 2,01 mg/l. Malgré cette présence notable du zinc dans ces eaux, les teneurs enregistrées restent inférieures à la concentration maximale admissible (CMA) recommandée par l’OMS (3 000 µg/l). Seuls les teneurs des points P3 et P5 qui se trouvent à proximité de la décharge marquent une légère augmentation par rapport aux normes.

Pour les lixiviats, la plus faible valeur a été observée au point Lix.3 (6,4 mg/l). La valeur maximale est enregistrée au point Lix.1 avec 56,01 mg/l (Fig.45).

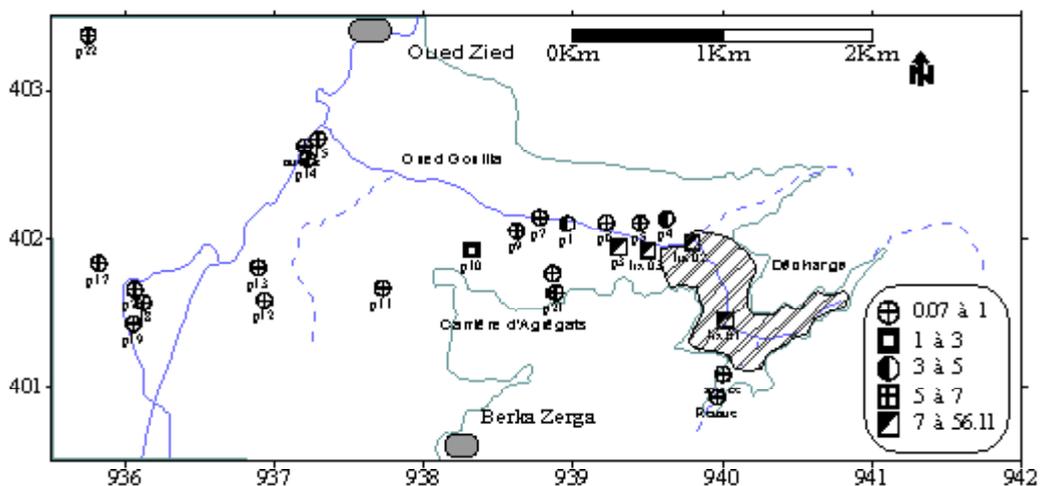


Figure. 45: Carte des teneurs en Zn (mg/l), Campagne de juin 2010

#### 3.4.4.4. Le Cuivre

Les valeurs relevées témoignent d'une contamination importante des eaux de la nappe. En effet, la valeur minimale de 4,05 mg/l est enregistrée au niveau de la source, elle est trois fois supérieure à la concentration maximale admissible (CMA) recommandée par l'OMS (1300 µg/L). La valeur maximale (26,74 mg/l) est enregistrée au niveau du point P5.

Pour les lixiviats, la valeur minimale de 256,76 mg/l est enregistrée au niveau du point Lix.1 et une valeur maximale de 517,74 mg/l est enregistrée au niveau du point Lix.2.

Géographiquement, la répartition des teneurs en Cuivre montre que les concentrations les plus élevées ont été relevées au niveau des points situés à proximité de l'oued Zied et de la décharge alors que les faibles valeurs, qui restent largement supérieures à la norme, ont été enregistrées au niveau des points situés au centre de la plaine, loin de toute source de pollution. L'origine de ces teneurs serait de nature géologique (fig.46).

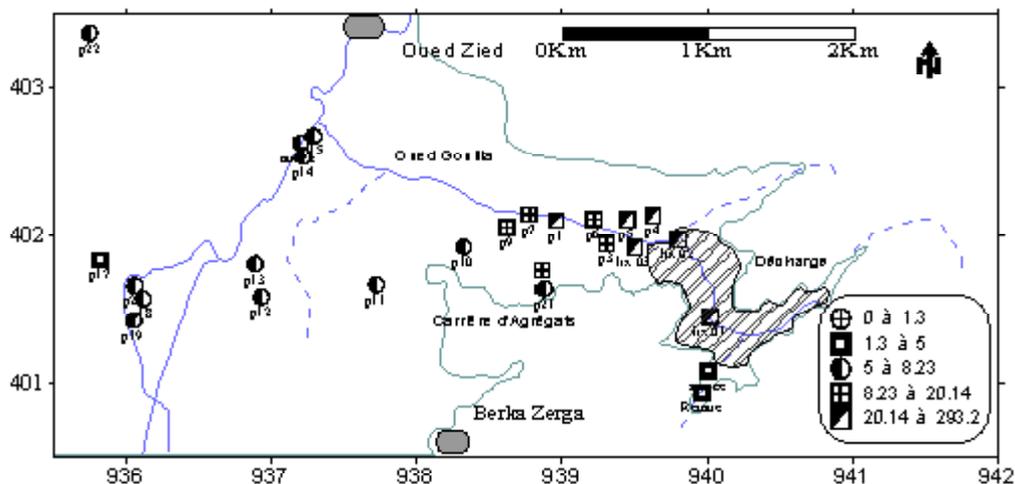
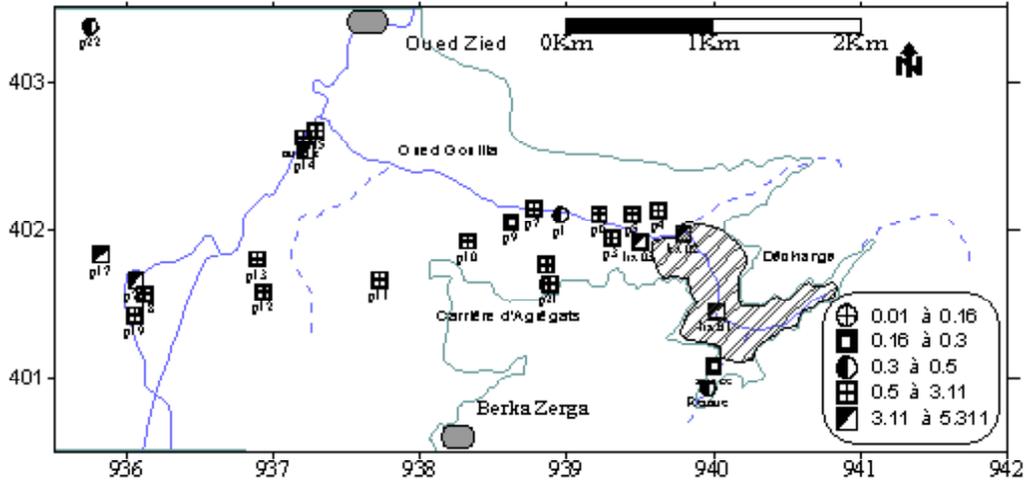


Figure. 46 : Carte des teneurs en Cu (mg/l), Campagne de juin 2010

#### 3.4.4.4. Le Chrome

Les valeurs relevées témoignent d'une contamination importante des eaux de la nappe. La valeur minimale de 0,03 mg/l est enregistrée au niveau de la source, la valeur maximale de 3,26 mg/l est enregistrée au niveau du point P17. Généralement, les teneurs au niveau des puits sont supérieures à la CMA préconisée par l'OMS pour l'eau potable.

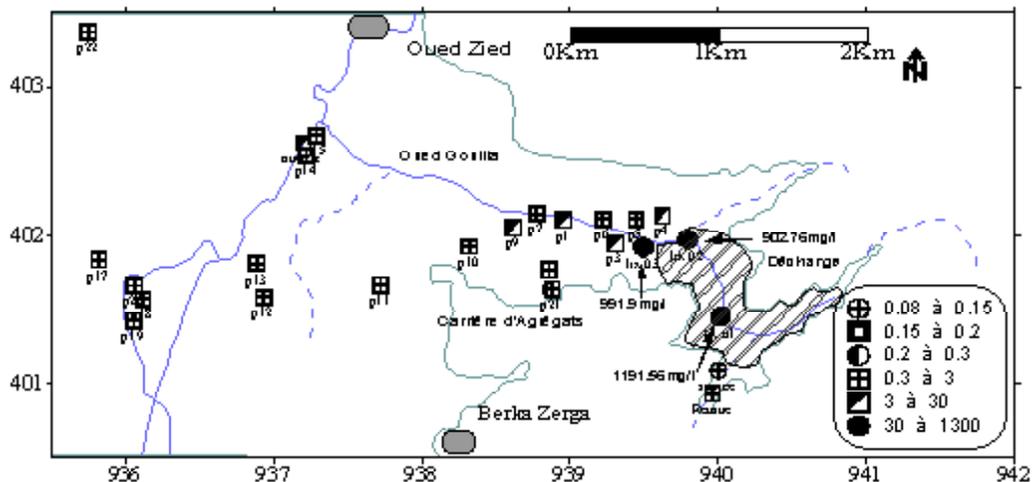
Pour les lixiviats, la valeur minimale de 2,39 mg/l est enregistrée au niveau du point Lix.1 et la valeur maximale (9,13 mg/l) est enregistrée au niveau du point Lix.2. Ces teneurs dépassent largement les normes préconisées pour les effluents (fig.47).



**Figure. 47: Carte des teneurs en Cr (mg/l), Campagne de juin 2010**

### 3.4.4.5. Le Fer

Des teneurs élevées en fer, de l'ordre de 10,13 mg/l et 9,56 mg/l sont respectivement observées au niveau des points P1 et P3, situés à proximité de la décharge. A l'exception de la source dont la teneur est de l'ordre de 0,08 mg/l, tous les points échantillonnés présentent des valeurs supérieures à la CMA préconisée par l'OMS, pour les eaux de boisson. Pour les lixiviats les teneurs sont également très élevées ; de 978,79 mg/l à 1243,89 mg/l, alors que la norme exigée pour les effluents est de 10 mg/l (Fig.48).

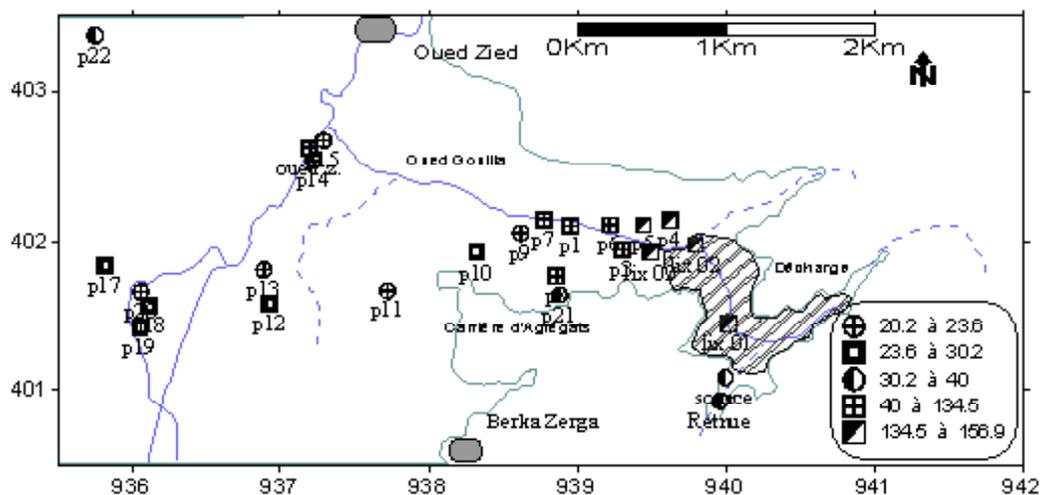


**Figure. 48 : Carte des teneurs en Fe (mg/l), Campagne de juin 2010**

### 3.4.5. La DBO5

Les valeurs élevées de la DBO<sub>5</sub> sont localisées sur la bordure de la décharge et au niveau des lixiviats. On remarque que les valeurs diminuent selon le sens d'écoulement de

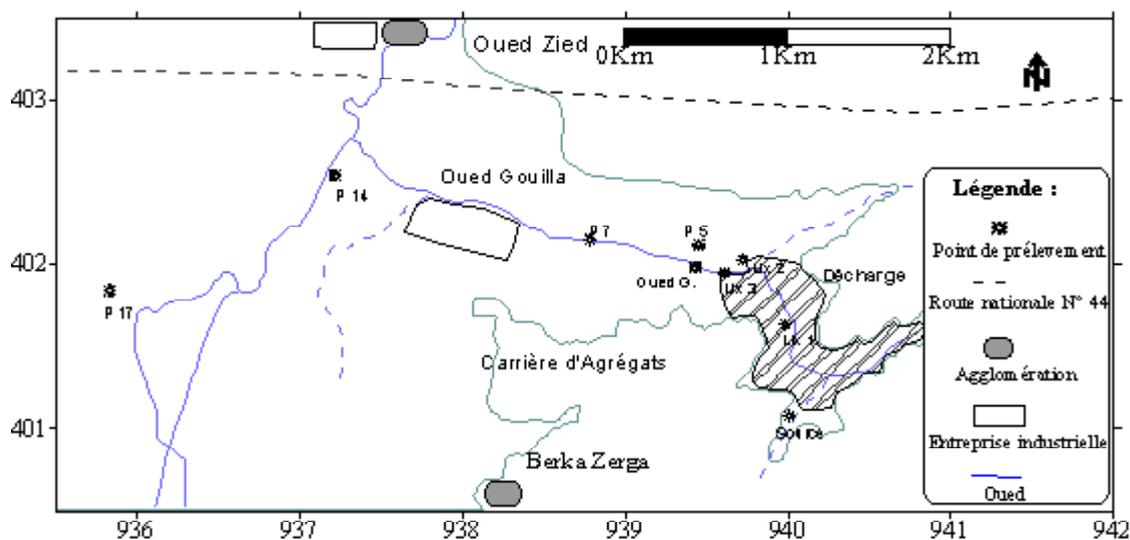
l'oued Gouilla (de la décharge vers le lac Fetzara). La forte valeur à proximité de l'oued Zied (P 16) serait due aux rejets urbains et à l'usine agroalimentaire qui se trouve dans l'agglomération de l'oued Zied (fig.49).



**Figure. 49. Carte des valeurs de la DBO<sub>5</sub> (mg/l), Campagne de juin 2010**

### 3.5. Evolution spatiotemporelle de la pollution

Pour caractériser l'évolution des teneurs dans le temps, nous avons choisi les points P3, P5, P7, P14, et P17 (dans la plaine), les points Lix.1, Lix.2, Lix.3 (dans la décharge) et un point de l'oued Gouilla (Fig.50). Les éléments concernés par le suivi qui a été effectué au mois d'Octobre 2009, Février 2010 et Juin 2010 sont la CE, les précipitations et la piézométrie.



**Figure. 50. Localisation des points choisis pour l'étude des variations temporelles**

D'une manière générale, les variations des concentrations dans les lixiviats et dans les eaux de la nappe sont soumises aux fluctuations saisonnières des précipitations (Tevissen, 1993).

La conductivité électrique diminue dans les lixiviats et dans les eaux souterraines pendant la période des hautes eaux sous l'effet de la dilution. La faible variation de la CE au niveau de la source et du puits P17, s'explique par les conditions de leur alimentation : la première émerge dans les formations calcaires à la faveur d'une faille, le second, étant situé à mi distance entre l'oued Zied et le lac Fetzara, subit l'influence permanent de ces derniers (fig.51).

A la différence de la CE, la concentration des métaux lourds montre une augmentation régulière pendant la période de hautes eaux dans les lixiviats et dans les eaux souterraines (Kimbrough, *et al*, 1999). Cependant quelques exceptions sont observées au niveau des points Lix01 pour le chrome et P3 pour le chrome et le zinc qui diminuent pendant cette période. Cette irrégularité serait le résultat de leur situation vis-à-vis de l'oued Gouilla : les deux points sont situés juste sur la rive de ce dernier, et seraient contaminé par son eau lors des débordements (dilution). On note également que la teneur en métaux lourds est relativement faible dans les puits captant la nappe, situés plus ou moins loin de la décharge mais elle reste toujours supérieure aux normes de l'OMS.

A l'inverse, durant les basses eaux, la concentration en métaux lourds diminue dans les eaux de la nappe et dans les lixiviats de la décharge. Ce phénomène peut être expliqué par l'absence de précipitations qui généralement favorisent le lessivage lors du ruissellement et de l'infiltration des eaux superficielles d'où l'importance de ces dernières dans le transfert des polluants de la décharge vers la nappe.

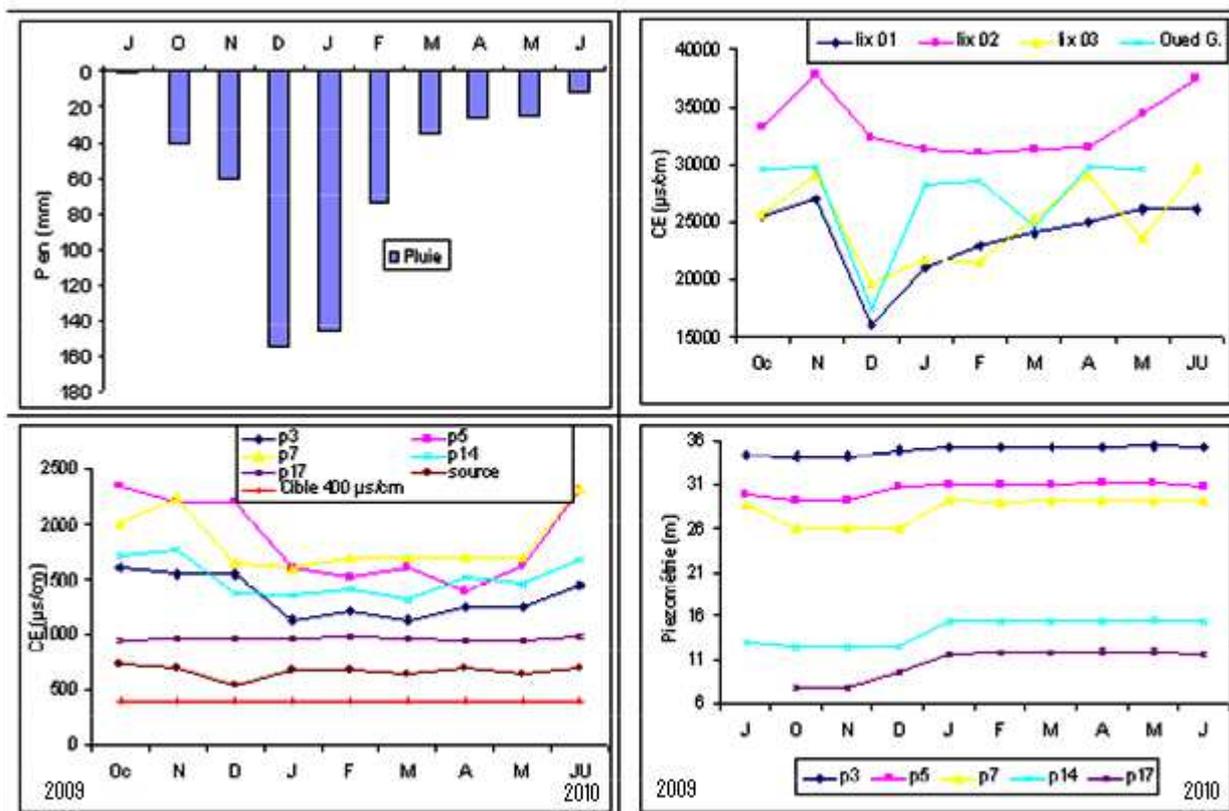


Figure. 51 : Variation temporelle des paramètres physiques dans la plaine et la décharge

### 3.6. Conclusion

La présente étude a mis en évidence la présence d'un gradient de contamination métallique amont-aval dans les eaux de la nappe. Les polluants sont présents à des concentrations variables d'un point de prélèvement à l'autre. La globalité des résultats montre que les points de prélèvement situés à proximité de la décharge ont révélé une contamination significative par les métaux lourds. En revanche, les points de prélèvements localisés au nord ouest de la plaine, ne témoignent d'aucune pollution importante par ces métaux.

Le degré de pollution est tributaire des variations saisonnières des précipitations. L'augmentation des teneurs en éléments toxiques, pendant la période de hautes eaux est favorisée par le lessivage des déchets de la décharge, le drain et l'infiltration des eaux superficielles.

L'absence, dans la quasi-totalité des cas, de traitement préalable des rejets urbains et industriels serait en grande partie responsable de la contamination des eaux souterraines de la région par les métaux lourds. De ce fait, les lixiviats de la décharge contribueraient à la

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

Selon les normes préconisées par l'OMS, les eaux souterraines de la région sont impropres à la consommation humaine. Elles sont confrontées à un sérieux problème de pollution par les métaux lourds, notamment par le plomb, le chrome et le fer. Ces derniers lorsqu'ils sont présents à des concentrations faibles sont à considérer également à cause des phénomènes de toxicité chronique et des effets d'interaction. Ils représentent ainsi des risques certains pour la santé des populations et pour la qualité des ressources naturelles.

#### **4. Conclusion du chapitre**

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

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

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

L'absence, dans la quasi-totalité des cas, de traitement préalable des rejets industriels serait en grande partie responsable de la contamination des eaux souterraines de la région, par les métaux lourds analysés. De même, les lixiviats de la décharge contribueraient à la pollution métallique, d'autant plus que la décharge, n'est pas conçue selon les normes d'une décharge contrôlée : système d'étanchéité, collecteur de biogaz et de lixiviat.

Cette étude a mis en évidence que les ressources en eaux souterraines de la région sont

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

# **6<sup>eme</sup> CHAPITRE**

## **EDR SANTE ET APPROCHE DE GESTION ET DE REHABILITATION**

## **6<sup>eme</sup> Chapitre : EDR Santé et approche d'aménagement et de réhabilitation**

### **1. Introduction**

L'accroissement des déchets solides et liquides est étroitement lié au développement économique et à la démographie. En effet, ce développement entraîne des impacts négatifs sur l'environnement et l'économie de beaucoup de pays. L'accroissement des populations et l'intensification des activités économiques en Algérie sont accompagnés d'une augmentation des rejets de toute nature qui vont rejoindre directement le milieu récepteur sans aucun traitement préalable ou du moins sans réduire les quantités de polluants selon les normes admises. Cette situation commence à avoir des répercussions très négatives sur la santé publique, sur les écosystèmes et sur l'économie elle-même.

Actuellement, les effluents industriels, situés dans le bassin de la Mebooudja, contiennent d'importantes quantités de produits chimiques organiques et inorganiques et autres substances polluantes. La plupart des industries ne sont pas raccordées à un quelconque réseau d'assainissement et même s'il existe, ces derniers ne fonctionnent pas d'une manière appropriée. Par conséquent, les effluents chimiques fortement colorés et toxiques rejoignent l'oued Meboudja, un affluent de l'oued Seybouse, polluant de ce fait les eaux de surface et les eaux souterraines.

Dans la zone de Berka Zarga, l'oued Gouilla collecte les lixiviats de la décharge vers la plaine de l'oued Zied et le lac Fetzara. Le degré de contamination est si intense que dans certains secteurs, notamment à l'aval de la décharge, l'environnement est devenu agressif pour la santé humaine et pour la faune et la flore.

Afin de réduire les effets désastreux de cette pollution, l'objectif scientifique visent une évaluation du risque santé afin de connaître leur ampleur, leur répartition spatiale mais également une meilleure connaissance de ces phénomènes par une surveillance permanente.

Pour ce faire, les résultats des analyses physico-chimiques, effectuées sur les échantillons de sol et des eaux de surface et souterraines durant la période 1999-2010, ont été utilisés. Les informations acquises sur la contamination des sols et des eaux superficielles et souterraines ont été utilisées pour élaborer le schéma conceptuel du site contaminé et pour identifier les différents scénarios d'exposition.

### **2. Evaluation du risque (EDR) sur la santé humaine**

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

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

L'étude de risque a pour objectif :

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

## **2.1. La toxicité des métaux lourds**

### **2.1.1. Le Chrome (Cr)**

#### **2.1.1.1. Impact sur l'environnement**

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

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

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

Les déchets contenant du Chrome sont considérés comme problématiques en raison de leur comportement dans les couches profondes du sol lorsqu'ils sont stockés dans des

décharges. En milieu alcalin, on estime que la stabilité des Chromes peut atteindre 50 ans, et qu'ils peuvent migrer vers les nappes aquifères, même au travers des sols cohérents.

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

#### **2.1.1.2. Impact sur la santé**

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

#### **2.1.2. Le Plomb (Pb)**

##### **2.1.2.1. Impact sur l'environnement**

Le plomb est un produit chimique particulièrement dangereux car il peut s'accumuler dans des organismes individuels, mais aussi dans la chaîne alimentaire tout entière. Le plomb s'accumule dans le corps des organismes aquatiques et ceux du sol provoquant leur empoisonnement. Chez les crustacés ces effets se font ressentir même à très petites doses.

Les fonctions du phytoplancton peuvent être perturbées lorsque le plomb est présent.

Les fonctions des organismes du sol sont perturbées par l'intervention du plomb, spécialement près des autoroutes et des terres agricoles, où des concentrations extrêmes peuvent être présentes.

##### **2.1.2.2. Impact sur la santé**

Quelque soit la forme dont le Plomb est introduit dans le corps, il est resté très toxique. Ses effets se font généralement sentir après une période d'accumulation du métal dans l'organisme.

Les enfants sont particulièrement exposés à l'intoxication, même pour des concentrations minimales : le Plomb peut retarder le développement moteur, altérer la mémoire et provoquer des problèmes d'audition et des troubles de l'équilibre. L'empoisonnement par

le Plomb se manifeste par l'anémie, la faiblesse, la constipation, la colique et la paralysie, en particulier des poignets et des chevilles

### **2.1.3. Le Fer total (Fe. T)**

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

#### **2.1.3.1. Impact sur l'environnement**

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

#### **2.1.3.2. Impact sur la santé**

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

### **2.1.4. Le Cuivre (Cu)**

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

#### **2.1.4.1. Impact sur l'environnement**

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

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

#### **2.1.4.2. Impact sur la santé**

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

#### **2.1.5. Le Nickel (Ni)**

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

##### **2.1.5.1. Impact sur l'environnement**

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

##### **2.1.5.2. Impact sur la santé**

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

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

Une longue exposition au Nickel peut provoquer le cancer des poumons. Le Nickel est très toxique par ingestion et peut induire de graves maladies digestives.

#### **2.1.6. Le Zinc (Zn)**

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

#### **2.1.6.1. Impact sur l'environnement**

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

#### **2.1.6.2. Impact sur la santé**

Le zinc est un élément essentiel pour la santé de l'homme. Lorsqu'on absorbe trop peu de zinc on peut alors avoir une perte de l'appétit, une diminution des sensations de goût et d'odeur, les blessures cicatrisent lentement et on peut avoir des plaies. Les carences en zinc peuvent aussi provoquer des problèmes lors des naissances. Trop de zinc peut tout de même provoquer des problèmes de santé importants, comme des crampes d'estomac; des irritations de la peau, des vomissements, des nausées, de l'anémie.

### **2.2. Evaluation des risques des métaux lourds sur la santé**

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

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

#### **2.2.1. Définition des concentrations d'exposition**

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

#### **2.2.2. Estimation des doses d'exposition**

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

### **2.2.2.1. 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 des équations adaptées pour chacune des voies d'exposition. Les équations se présentent de la manière suivante :

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

Tel Que :

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

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

### **2.2.2.2. DJE pour le contact dermique avec le sol**

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

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

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

Tel que :

**DJE** : Dose journalière exposée. **Cs** : Concentration du composé dans le sol (mg/kg). **Sa** : Surface de peau (cm<sup>2</sup>). **Fs** : Facteur d'adsorption. **SL** : Facteur climatique (sans dimension). **EF** : Fréquence d'exposition (j/an). **Z** : Poids du corps (Kg). **Bw** : Fraction de peau exposée.

### **2.2.2.3. Dose journalière acceptable (DJA)**

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

### **2.2.3. Estimation du risque**

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

#### **2.2.3.1. 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) :

$$IR = DJE / DJA.$$

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

#### **2.2.3.2. Estimation du risque cancérigène**

L'introduction des données dans le logiciel risk4 nous a permis de dégager les observations suivantes (notons que seules les valeurs maximales pour chaque secteur ont été utilisées):

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

### **2.2.4. Application numérique**

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

#### 2.2.4.1. Plaine de l'oued Meboudja

Dans le secteur de l'oued Méboudja, on constate que la contamination, par le chrome et le plomb, présente un indice du risque **supérieur à 1**, donc il est inacceptable pour les deux catégories de la société (enfant, adulte). Cependant L'IR dans le cas du nickel est acceptable pour tous les points à l'exception du P11 où il est inacceptable pour l'enfant. Quant au cuivre L'IR est tolérable dans tous les cas (tab.28).

**Tableau.28 : Indice du risque total pour l'usage des eaux de surface (plaine Méboudja)**

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

La figure (Fig.52) indique clairement que L'IR (chrome), pour les deux catégories de la société (enfant, adulte), dans le scénario des eaux de surface, est supérieur à 1 donc inacceptable. Ici, l'influence des installations industrielles est très nette, notamment à

proximité de l'usine Arcelor Mittal steel et dans la partie Est correspondant aux zones industrielles Meboudja et Pont Bouchet (fig.53).

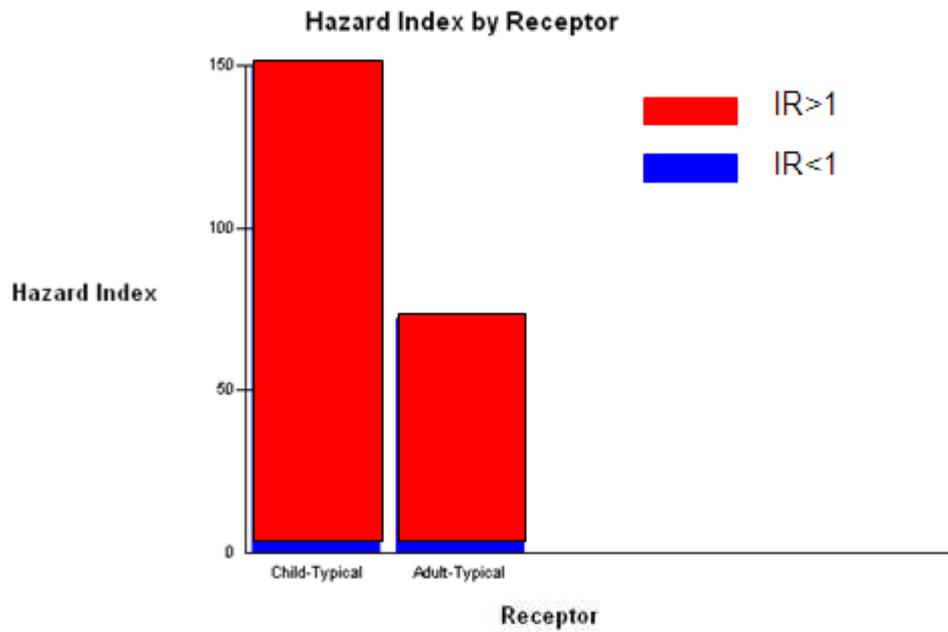


Fig. 52 : Indice du risque total du Cr dans l'Oued Méboudja

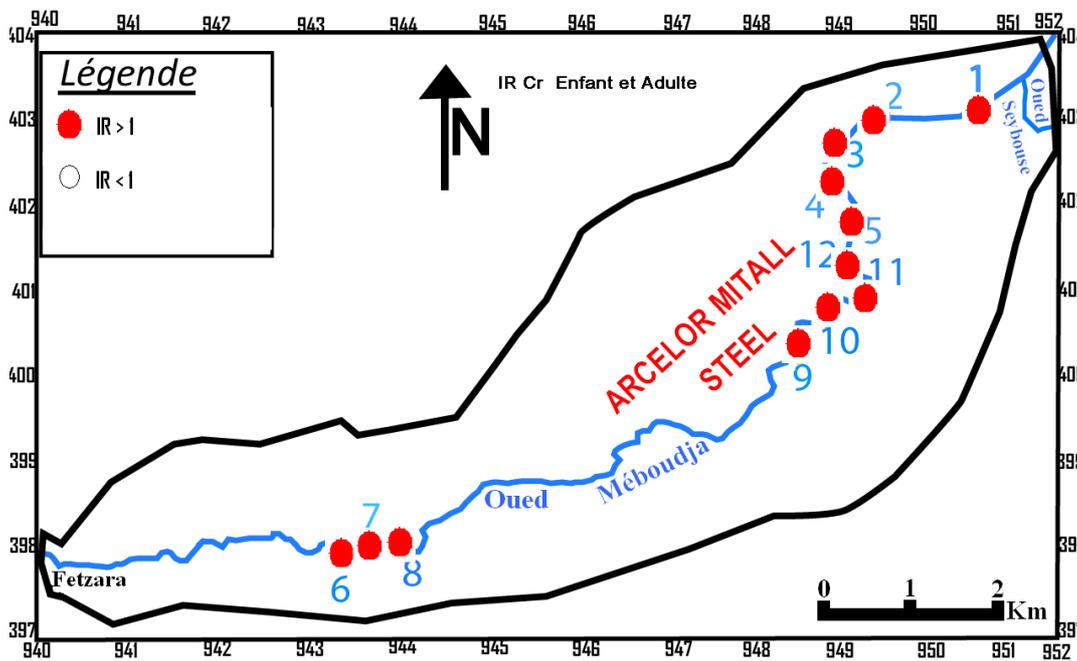


Fig. 53 : Carte de L'IR du Cr pour l'enfant et l'adulte

(Oued méboudja)

#### 2.2.4.2. Plaine de l'oued Zied

L'évaluation du risque des éléments chimiques (usage des eaux souterraines) dans **la plaine de l'Oued Zied** montre un IR pour le **chrome** et pour le **cuivre** qui dépasse largement le seuil toléré. Le puits P17 présente un risque avec une moyenne d'IR de l'ordre de 36 et 17 respectivement pour l'enfant et l'adulte (fig. 54).

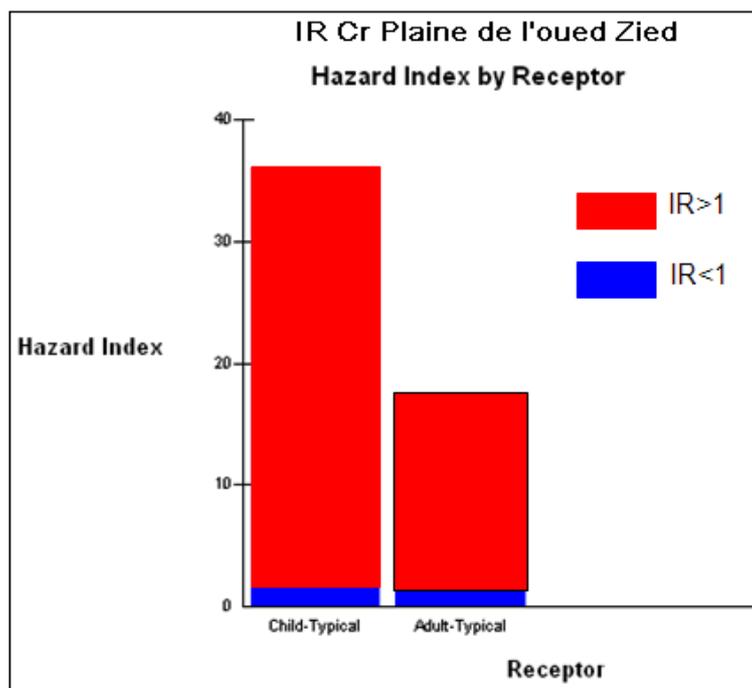
Cependant pour le **plomb**, il est souvent inacceptable sauf aux puits : P10, P14, P15, P17 et P22. Il faut signaler que l'IR est inacceptable chez l'enfant et acceptable chez l'adulte au niveau des puits (P3, P11, P12, P13, P18, P19 et P20).

L'IR pour le **Zinc** est tolérable dans tous les points à l'exception du P3 où il est inacceptable pour l'enfant (tab.29).

**Tableau. 29 : Indice du risque total pour l'usage des eaux souterraines (plaine d'oued Zied)**

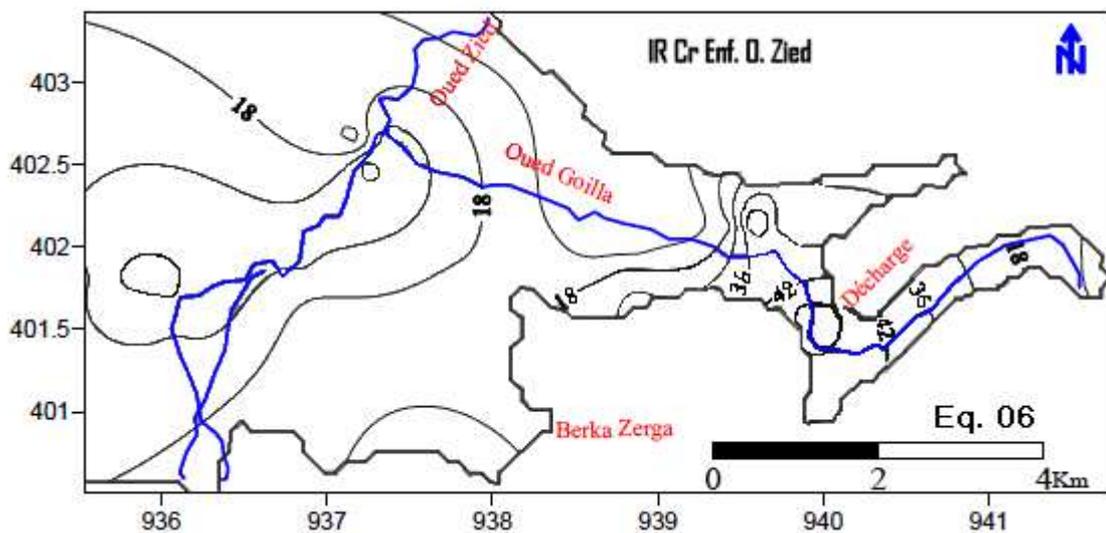
| point d'eau | Indice du Risque    |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |
|-------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|             | Cr                  |                     | Pb                  |                     | Cu                  |                     | Zn                  |                     |
|             | enfant              | adulte              | enfant              | adulte              | enfant              | adulte              | enfant              | adulte              |
| P1          | 5.1                 | 2.4                 | 3.5                 | 1.6                 | $2.3 \cdot 10^{+1}$ | $1.1 \cdot 10^{+1}$ | $5.4 \cdot 10^{-1}$ | $2.5 \cdot 10^{-1}$ |
| P2          | 5.1                 | 2.4                 | 3.5                 | 1.6                 | $2.3 \cdot 10^{+1}$ | $1.1 \cdot 10^{+1}$ | $5.4 \cdot 10^{-1}$ | $2.5 \cdot 10^{-1}$ |
| P3          | $1.5 \cdot 10^{+1}$ | 7.1                 | 1.3                 | $6.1 \cdot 10^{-1}$ | 7.8                 | 3.7                 | 1.1                 | $5 \cdot 10^{-1}$   |
| P4          | $2.2 \cdot 10^{+1}$ | $1.1 \cdot 10^{+1}$ | 2.5                 | 1.2                 | $1.7 \cdot 10^{+1}$ | 8.2                 | $5.2 \cdot 10^{-1}$ | $2.4 \cdot 10^{-1}$ |
| P5          | $1.6 \cdot 10^{+1}$ | 7.6                 | 5.3                 | 2.5                 | $2.2 \cdot 10^{+1}$ | $1 \cdot 10^{+1}$   | $2.9 \cdot 10^{-2}$ | $1.3 \cdot 10^{-2}$ |
| P6          | 6.6                 | 3.1                 | /                   | /                   | $1.4 \cdot 10^{+1}$ | 6.6                 | $4.6 \cdot 10^{-2}$ | $2.1 \cdot 10^{-2}$ |
| P7          | $2.4 \cdot 10^{+1}$ | $1.1 \cdot 10^{+1}$ | 3.6                 | 1.7                 | $1.2 \cdot 10^{+1}$ | 5.8                 | $4.8 \cdot 10^{-2}$ | $2.2 \cdot 10^{-2}$ |
| P8          | $2.3 \cdot 10^{+1}$ | $1.1 \cdot 10^{+1}$ | 3.8                 | 1.8                 | 6.1                 | 2.9                 | $3.9 \cdot 10^{-2}$ | $1.8 \cdot 10^{-2}$ |
| P9          | 2.1                 | 1.0                 | 2.6                 | 1.2                 | 7                   | 3.3                 | $2.9 \cdot 10^{-2}$ | $1.3 \cdot 10^{-2}$ |
| P10         | $1.5 \cdot 10^{+1}$ | 7.1                 | $9.8 \cdot 10^{-1}$ | $4.6 \cdot 10^{-1}$ | 6.5                 | 3.0                 | $1.8 \cdot 10^{-1}$ | $8.6 \cdot 10^{-2}$ |

|     |                     |                     |                     |                     |     |     |                     |                     |
|-----|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-----|-----|---------------------|---------------------|
| P11 | $1.5 \cdot 10^{+1}$ | 7.1                 | 1.2                 | $5.4 \cdot 10^{-1}$ | 4.7 | 2.2 | $1.3 \cdot 10^{-2}$ | $6 \cdot 10^{-3}$   |
| P12 | $1.4 \cdot 10^{+1}$ | 6.8                 | 1.1                 | $5 \cdot 10^{-1}$   | 5.4 | 2.5 | $1.1 \cdot 10^{-1}$ | $5.2 \cdot 10^{-2}$ |
| P13 | $2.6 \cdot 10^{+1}$ | $1.2 \cdot 10^{+1}$ | 1.1                 | $5 \cdot 10^{-1}$   | 4.4 | 2.1 | $2.6 \cdot 10^{-2}$ | $1.2 \cdot 10^{-2}$ |
| P14 | $3.6 \cdot 10^{+1}$ | $1.7 \cdot 10^{+1}$ | $8 \cdot 10^{-1}$   | $3.8 \cdot 10^{-1}$ | 5.5 | 2.6 | $2.3 \cdot 10^{-2}$ | $1.1 \cdot 10^{-2}$ |
| P15 | $2.6 \cdot 10^{+1}$ | $1.2 \cdot 10^{+1}$ | $1.8 \cdot 10^{-1}$ | $8.4 \cdot 10^{-2}$ | 6.5 | 3.1 | $2.6 \cdot 10^{-2}$ | $1.2 \cdot 10^{-2}$ |
| P16 | 5.5                 | 2.6                 | 7.2                 | 3.4                 | 6.1 | 2.9 | $2.9 \cdot 10^{-2}$ | $1.3 \cdot 10^{-2}$ |
| P17 | $3.6 \cdot 10^{+1}$ | $1.7 \cdot 10^{+1}$ | $8.9 \cdot 10^{-1}$ | $4.2 \cdot 10^{-1}$ | 4.0 | 1.9 | $1.3 \cdot 10^{-2}$ | $6 \cdot 10^{-3}$   |
| P18 | $3.3 \cdot 10^{+1}$ | $1.6 \cdot 10^{+1}$ | 1.6                 | $7.5 \cdot 10^{-1}$ | 4.3 | 2.0 | $2.9 \cdot 10^{-3}$ | $1.3 \cdot 10^{-3}$ |
| P19 | $2.5 \cdot 10^{+1}$ | $1.2 \cdot 10^{+1}$ | 1.6                 | $7.5 \cdot 10^{-1}$ | 5.2 | 2.5 | $4.3 \cdot 10^{-3}$ | $2 \cdot 10^{-3}$   |
| P20 | $3.4 \cdot 10^{+1}$ | $1.6 \cdot 10^{+1}$ | 1.5                 | $7.1 \cdot 10^{-1}$ | 4.3 | 2.0 | $2.2 \cdot 10^{-1}$ | $1 \cdot 10^{-1}$   |
| P21 | $2.8 \cdot 10^{+1}$ | $1.3 \cdot 10^{+1}$ | 7.9                 | 3.7                 | 6.1 | 2.9 | $1.9 \cdot 10^{-1}$ | $8.6 \cdot 10^{-2}$ |
| P22 | /                   | /                   | $8 \cdot 10^{-1}$   | $3.8 \cdot 10^{-1}$ | 4.3 | 2.0 | $2.2 \cdot 10^{-1}$ | $1 \cdot 10^{-1}$   |



**Fig. 54 : Indice du risque total du Cr dans la plaine de L'Oued Zied**

Les cartes (fig.55) montrent que les eaux souterraines de la plaine de l'Oued Zied sont exposées au risque de contamination cancérigène par les métaux lourds et plus particulièrement, par l'élément chrome. On constate que L'IR (l'enfant) augmente dans le sens d'écoulement des Oueds (Oued Gouilla et Oued Zied), et il devient important après leur confluence, dans la partie Ouest (effet de la stagnation). Par contre, dans la tranche Est et à proximité de la décharge publique, le secteur considéré le plus pollué, l'IR représente le risque maximum (influence des lixiviats) indiquant ainsi le risque considérable engendré par ces eaux fortement contaminées.



**Figure. 55 : Indice du Risque Cr pour l'Enfant, Plaine de l'oued Zied**

### 2.3. Conclusion

Le traitement des données chimiques (métaux lourds) par le logiciel RISK4, montre qu'au niveau de l'oued Méboudja, l'indice du risque pour le chrome et le plomb est inacceptable, alors qu'il est acceptable pour le cuivre et le nickel.

Pour la plaine de l'oued Zied, L'IR est inacceptable pour les deux catégories (enfant, adulte) dans le cas du chrome et du cuivre. Cependant pour le plomb, il est inacceptable pour l'enfant et acceptable pour l'adulte dans certains puits. Dans le cas du zinc, l'indice du risque ne pose aucun danger.

La présente étude a mis en évidence la présence d'un gradient de contamination métallique amont-aval dans toutes les zones étudiées. Les polluants sont présents à des concentrations d'importance variable d'un point de prélèvement à l'autre. La globalité des

résultats montre que les points de prélèvement ont révélé une contamination significative par les métaux lourds.

### **3. Développement d'un Plan de Réhabilitation. Cas de la Décharge de Berka Zarga**

#### **3.1. Etat des lieux**

Le projet d'organisation et de réaménagement de la décharge publique de Berka Zerga de la wilaya de Annaba, avait été initié en 2001 par la direction de l'environnement et financé par les communes de Annaba (10 MDA), El Bouni (6 MDA), El Hadjar (5 MDA) et Sidi Amar (8 MDA). Malgré le fait que des dates aient été fixées pour son lancement et que l'EGDA, (entreprise de gestion de la décharge de Annaba) chargée de son suivi, ait été créée, ce projet a rejoint beaucoup d'autres dans les archives des décideurs. Prévus pour être lancés en juin 2002, les travaux de réalisation avaient été différés à octobre 2003. Plusieurs années après (jusqu'en 2012), l'on est toujours au stade des travaux, y compris au niveau de la direction de gestion de la décharge.

#### **3.2. Objectif**

L'objectif principal de l'étude est d'identifier la solution "optimale" pour la réhabilitation (ou l'aménagement) de la décharge Berka Zarga. Ainsi, la première étape (Phase I) de l'étude consiste à dresser un diagnostic environnemental permettant d'évaluer les impacts et les risques de la situation actuelle sur l'environnement et la santé humaine. La Phase II de l'étude consiste à identifier les scénarios de réhabilitation potentiels, compte tenu des résultats du diagnostic environnemental, ainsi que des critères légaux, économiques, et sociaux. La Phase III consiste à décrire précisément les différentes étapes de la solution retenue jusqu'au réaménagement paysager ultime, avec éventuellement une définition de variantes possibles. Ce plan d'action comprend les moyens prévus pour la réalisation des différentes étapes du projet,

##### **3.2.1. Phase I : Rappel du Diagnostic Environnemental**

La Phase I décrit en détail le diagnostic environnemental ainsi que l'analyse des impacts de la décharge sur l'environnement. Du point de vue hydrogéologique, la décharge se trouve sur les gneiss très peu fissurés présentant une légère altération en surface, L'épaisseur de cette altération est faible et de part sa nature limono-argileuse forme une couche imperméable à sa saturation par les premières pluies. La pente assez forte et la nature imperméable de la couche

favorisent l'écoulement de surface par le suintement et le ruissellement. Les grès du numidiens qui forment le sommet du bassin versant de la décharge sont faiblement perméables et ne sont pas favorables à l'accumulation de l'eau en raison de leur texture, d'une part, et de leur alternance avec les argiles d'autre part. Les gneiss, les micaschistes et les argiles sont considérés comme imperméables et leur perméabilité est de l'ordre de  $10^{-9}$  m/s.

Toutefois, la contamination ( $IR > 1$ ) des eaux souterraines est provoquée par l'intermédiaire de l'oued Gouilla qui traverse la décharge en véhiculant les lixiviats vers la plaine de l'oued Zied. Les fortes concentrations en métaux lourds observées au niveau des puits sont dues aux échanges oued-nappe.

### **3.2.2. Phases II et III : Identification de la solution optimale**

L'objectif de la phase II de l'étude consiste à identifier l'option optimale afin de réhabiliter la décharge de Berka Zarga compte tenu des résultats du diagnostic environnemental ainsi que d'autres critères légaux, sociaux, et économiques. La solution retenue est ensuite conçue en détail dans la phase III. Il s'agit donc de présenter l'analyse des options de réhabilitation, ainsi qu'une description de la solution retenue et les mesures d'accompagnement du projet qui doivent être entreprises afin d'éviter que le projet de réhabilitation de la décharge ne représente qu'une solution à court terme pour la problématique des déchets solides de la région.

#### **3.2.2.1. Description générale des options de réhabilitation**

De façon générale, trois options principales vis-à-vis de la réhabilitation de la décharge peuvent être proposées. Celles-ci sont:

1. Le maintien du statu quo;
2. La réhabilitation de la décharge hors site;
3. La réhabilitation et l'aménagement de la décharge sur place.

Ces options sont analysées avec plus de détail dans les paragraphes qui suivent et sont évaluées selon des critères techniques, légaux et socio-économiques.

### 3.2.2.1.1. Maintien du Statu Quo

Maintenir le statu quo représenterait une solution passive du problème (S1). Dans certaines situations, le maintien du statu quo pourrait être une solution acceptable. Dans le cas de la décharge de Berka Zarga cette solution signifie:

- ◆ Encourager les activités polluantes telles que la combustion des déchets et le rejet des déchets de boucherie et des hôpitaux dans la décharge;
- ◆ Maintenir le risque de pollution des ressources en eau;
- ◆ Maintenir le risque de propagation de maladies infectieuses ainsi que l'émanation d'odeurs néfastes.

Pour ces raisons, cette option **est inacceptable** du point de vue environnemental et économique.

### 3.2.2.1.2. Réhabilitation de la Décharge Hors Site

Cette option (S2) consiste principalement à enlever les déchets enfouis dans le site et à les placer dans une autre décharge contrôlée :

Le problème de **transport et l'absence de décharge contrôlée** dans les environs immédiats rend **cette option inacceptable** .

### 3.2.2.1.3. Réhabilitation et réaménagement de la Décharge sur Place

Cette option consiste à contenir les déchets sur place de façon à minimiser les risques environnementaux tout en valorisant les terrains autour de la décharge. Deux variantes ont été considérées:

- ◆ Scénario S3 qui consiste à couvrir la décharge avec une couverture finale afin de minimiser l'infiltration d'eau et donc la production de lixiviats dans le site;
- ◆ Scénario S4 qui consiste à créer un centre d'enfouissement technique au sein du terrain de la décharge. Ce centre doit comporter plusieurs fosses afin de stocker les déchets déjà existant et de recevoir de nouveaux déchets.

\* Ces deux dernières options doivent tenir compte de l'aménagement de l'oued Gouila qui traverse la décharge et qui véhicule les lixiviats vers la plaine de l'oued Zied.

### 3.3. Résumé des Options de Réhabilitation

En résumé, deux (2) options de réhabilitation ont été considérées possibles. Celles-ci sont reprises dans le tableau 30.

**Tableau 30 : Résumé des Options de Réhabilitation**

| <i>Optio<br/>n</i> | <i>Description</i>   |
|--------------------|--|
| S1                 | Consiste à clôturer la décharge de Berka Zarga en plaçant une couverture protectrice pour minimiser l'infiltration d'eau de pluie et donc la production de lixiviat et réduire les impacts causés par la décharge sur l'environnement et la santé publique |
| S2                 | Consiste à aménager la décharge de Berka Zarga et créer un centre d'enfouissement technique  |

### 3.4. Sélection de l'option optimale

#### 3.4.1. Critères de Sélection

Plusieurs critères doivent être considérés avant de choisir une option de réhabilitation pour la décharge. Le Tableau 31 présente les critères utilisés pour la sélection de l'option "optimale". Ces critères comprennent la faisabilité légale vis-à-vis de la réglementation, la protection de l'environnement et de la santé publique, l'efficacité à long terme de la solution, les risques durant la mise en œuvre de l'option (risques à court terme), la faisabilité technique, l'acceptation du public, et le coût de l'option (investissement et coût de suivi).

**Tableau. 31 : Critères de Sélection**

| <i>Critère</i>               | <i>Commentaire</i>   |
|------------------------------|--|
| Faisabilité légale vis-à-vis | L'option retenue doit être légalement faisable, n'ayant aucune |

|   |   |
|---|---|
| de la réglementation                                  | objection vis-à-vis de la politique globale du pays   |
| Protection de l'environnement et de la santé publique | L'option retenue doit efficacement remplir son rôle primordial de protéger l'environnement et la santé publique                       |
| Efficacité à long terme                               | L'option retenue doit être acceptable sur le long terme   |
| Risques durant la mise en œuvre                       | Les impacts possibles durant la mise en œuvre (impacts sur l'environnement ainsi que la santé des ouvriers) doivent être raisonnables |
| *Faisabilité technique                                | L'option doit être techniquement réalisable de tout point de vue (ressources humaines, disponibilité de matériaux, etc....)           |
| *Acceptation du public                                | Le public doit être au courant de l'option et doit l'accepter   |
| *Coût   | Le coût de l'option (investissement et suivi) doit être raisonnable   |

**\* Ces critères étant déjà définis, ils ne seront pas abordés dans ce qui va suivre**

### 3.4.2. Évaluation des Options

#### 3.4.2.1. Faisabilité Légale

Les institutions publiques impliquées dans la gestion des déchets et l'environnement ont déjà donné leur accord pour le financement du projet (voir paragraphe « Etat des lieux ») selon l'option **S4**.

#### 3.4.2.2. Protection de l'Environnement et de la Santé Publique

Étant donné le stade avancé de décomposition des déchets et les caractéristiques de l'entourage de la décharge, les options S3 et S4 offrent une solution acceptable de ce point de vue, avec l'option S4 offrant une protection supérieure.

#### 3.4.2.3. Efficacité à Long Terme

Les solutions sur place consistent à isoler la source du risque de son entourage. Le problème se pose lorsque les méthodes utilisées pour isoler cette source échouent après une certaine période. Ceci peut être dû à un défaut ou vieillissement des membranes protectrices.

C'est pour cela que de telles solutions doivent être accompagnées d'un programme de suivi pour assurer leur réussite sur le long terme. Il est ainsi préférable de mettre, à la base, une couche argileuse afin de protéger la couche imperméable artificielle des gravas et cailloutis sous jacent qui pourraient éventuellement la détériorer. Dans le cas de la décharge de Berka Zarga, cette couche argileuse imperméable offre une protection additionnelle qui permet de mieux assurer l'efficacité à long terme de la solution S4.

#### *3.4.2.4. Risques à Court Terme*

Les risques à court terme se posent surtout durant la mise en œuvre des options. Toutes les options requièrent un certain degré de manipulation avec les déchets. Le degré d'excavation est toutefois le moindre pour la solution S3. .

#### 3.4.3. Choix de l'Option Optimale

La décharge de Berka Zarga se trouve stratégiquement placée sur une couche imperméable (gneiss, micaschistes et argiles) qui protège les ressources en eau et ses déchets se trouvent dans un stade assez avancé de décomposition. D'un autre côté, le transport des déchets en dehors de la décharge est difficile à cause du problème de transfert de responsabilité, le manque d'espace et le coût assez élevé. La réalisation, sur place, d'un centre d'enfouissement technique semble être la meilleure solution compte tenu de la situation existante (option S4).

### **4. Conception de solution retenue**

La solution retenue consiste donc à créer un Centre d'Enfouissement Technique (CET) répondant aux normes préconisées par la réglementation algérienne (MATET, 2004). Il s'agit des fosses techniques ou casiers pourvues de système d'étanchéité à la base (couche d'argile et géo membrane imperméable). Ces fosses seront ensuite complètement remplies de déchets selon le procédé approprié de compactage des déchets. Enfin, l'ensemble sera recouvert par une couverture finale protectrice, avec réaménagement paysager, permettant ainsi la remise en valeur du terrain. Cette partie décrit les détails techniques de la couche de fond, la couverture finale, la gestion du biogaz et du lixiviat, ainsi qu'un aperçu du réaménagement paysager (fig.55).

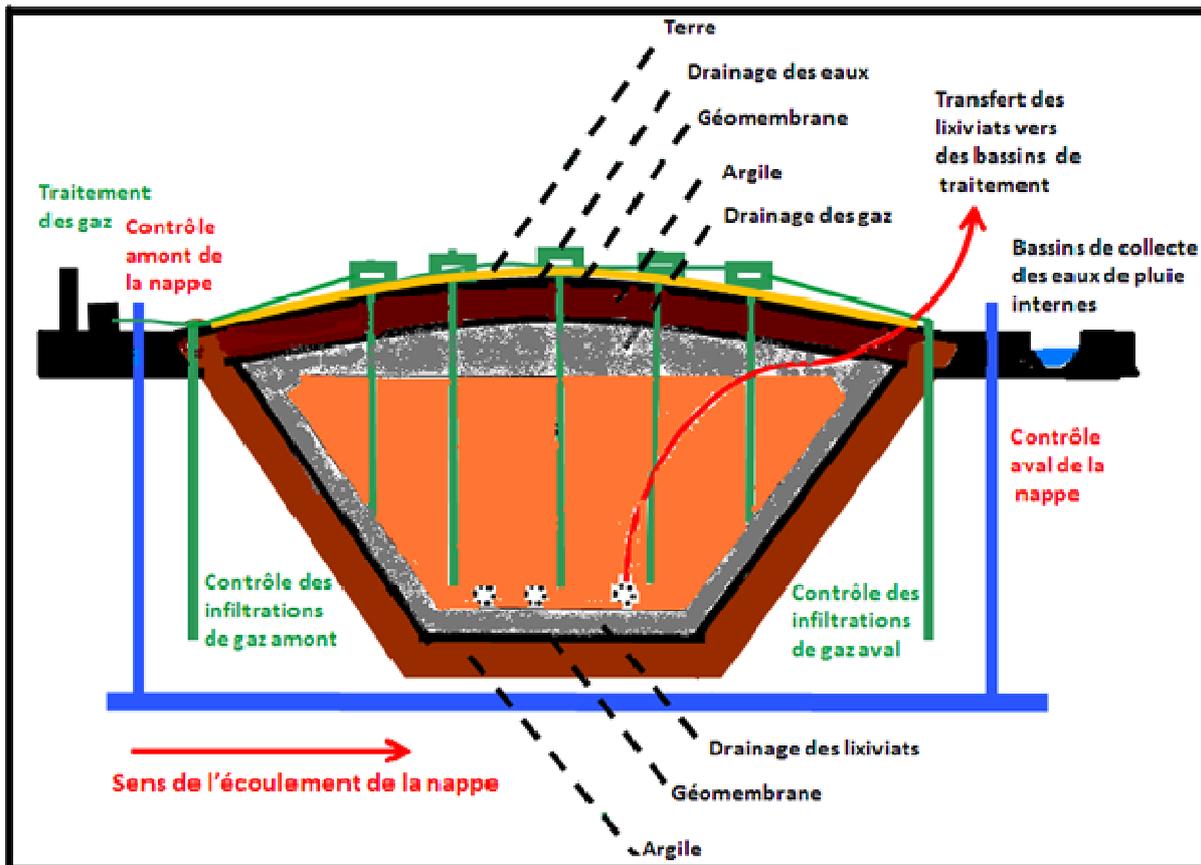
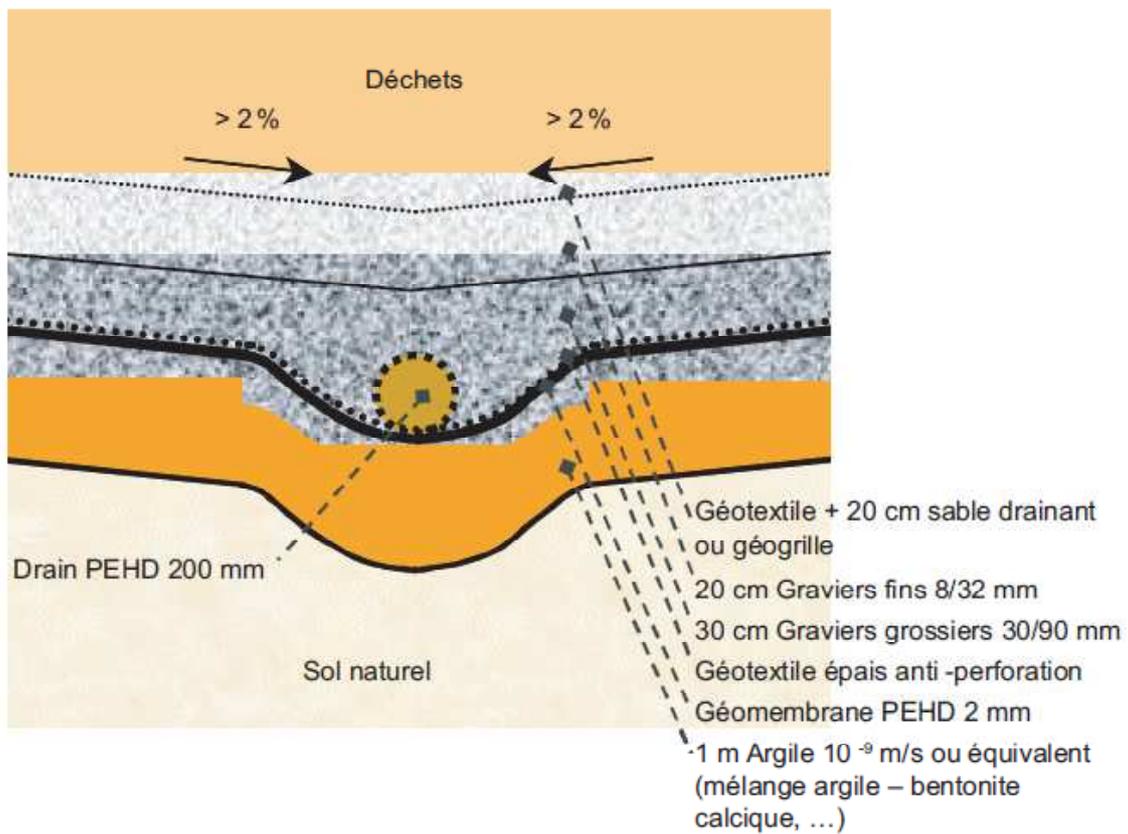


Fig. 55' : Schéma d'aménagement d'un CET.

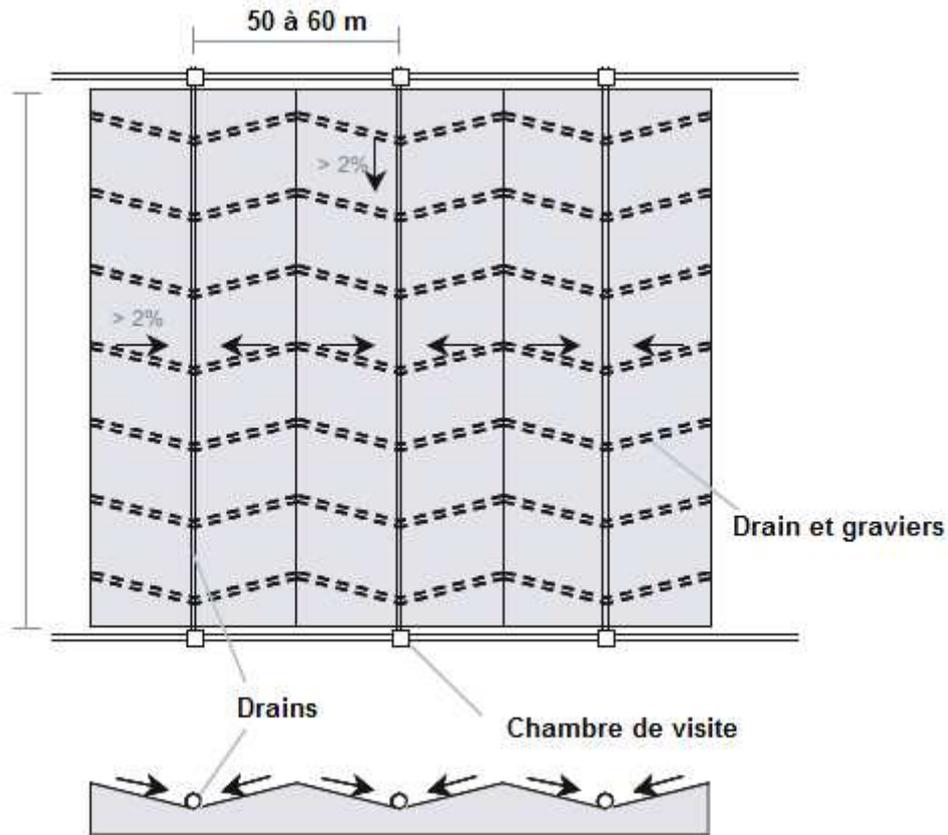
#### 4.1. La base du CET

Les barrières de sécurité qui sont disposées sur le terrain naturel à la base du CET, y compris les flancs lorsque celui-ci est de forme concave, ont pour fonction de protéger le sol et les nappes aquifères contre toute contamination par les lixiviats. La base du CET comporte généralement deux barrières de sécurité (fig.56) : une barrière dynamique ou argileuse et une barrière d'étanchéité statique ou géomembranes en PolyÉthylène Haute Définition (PEHD). La réalisation de la barrière argileuse se fait par compactage de couches successives de perméabilité  $10^{-9}$  m/s. On définit sur la surface au sol du CET des zones (appelées cellules) d'environ 50 à 200 m de côté en fonction notamment des conditions de mise en œuvre du drainage des lixiviats et des eaux atmosphériques. Chaque cellule sera traversée longitudinalement par un léger fossé qui accueillera par la suite le drain principal (éventuellement constitué de plusieurs drains parallèles. Un certain profilage de la barrière argileuse doit être respecté afin d'imprimer, de part et d'autre du fossé, et le long du fossé lui-même, des pentes de 2 à 5% pour permettre l'écoulement des liquides et la pose de drains secondaires (fig.57). Après mise en place, la barrière d'étanchéité dynamique aura une

épaisseur minimum de 50 cm et sera au minimum équivalente à une couche d'argile d'une épaisseur de 1 m de perméabilité  $10^{-9}$  m/sec.



**Fig. 56 : Succession des couches de matériaux constituant l'aménagement de la base d'un CET de déchets ménagers.**

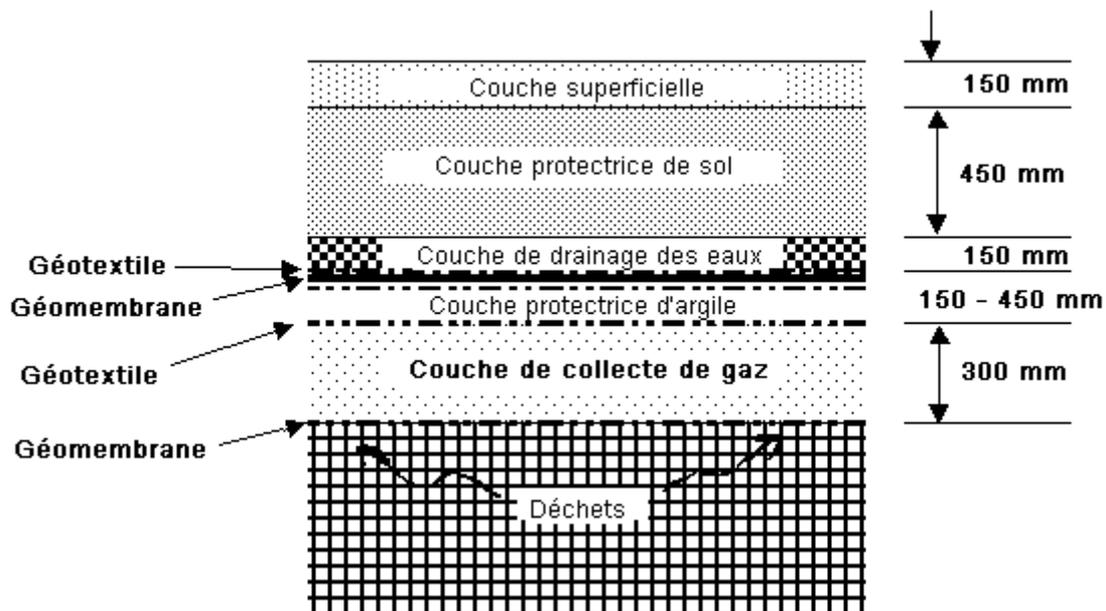


**Fig. 57 : Configuration du système de drainage des liquides.**

## **4.2. La couverture finale**

### **4.2.1. Éléments Principaux**

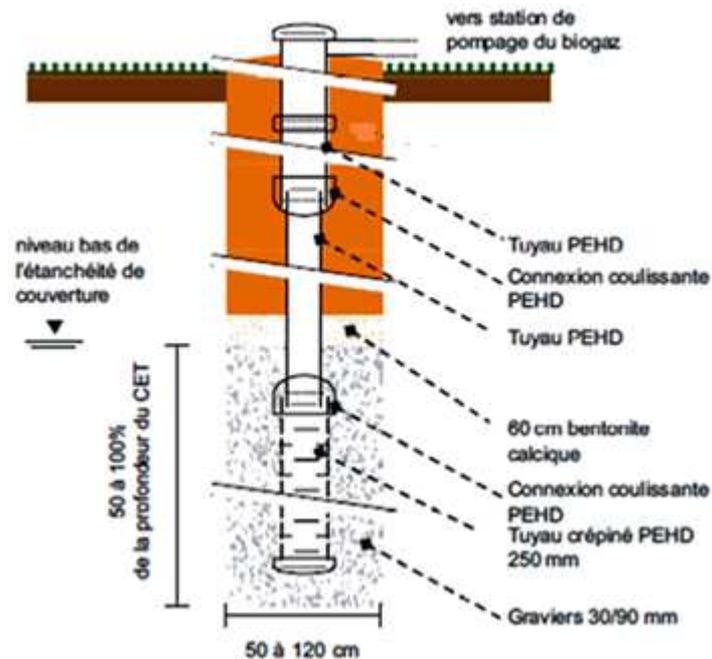
Quatre fonctions essentielles doivent être remplies par la couverture finale: 1) contrôle de l'émanation des gaz, 2) contrôle de l'infiltration de l'eau dans les déchets pour minimiser la production de lixiviat, 3) isolement des déchets afin de protéger le public, et 4) remise en valeur du terrain de la décharge. Une couverture finale comporte généralement une couche de collecte du biogaz, une couche ou combinaison de couches imperméables (naturelle et/ou artificielle), des géotextiles, une couche de drainage d'eau, et les couches de sol supérieures avec aménagement paysager (Fig. 58). Il est à noter que l'épaisseur de la couche naturelle d'argile peut varier entre 150 et 450 mm selon la présence ou l'absence d'une géomembrane. Ceci dépend de la disponibilité d'une couche naturelle de bonne qualité. La pose de la couverture doit respecter un profil en dôme qui, tenant compte des phénomènes de tassement des déchets, imprimera des pentes de 6% après stabilisation totale, avec localement des pentes de 3% autorisées.



**Fig. 58 : Différents Éléments Possibles de la Couverture Finale**

#### 4.2.2. La Couche de Collecte de Biogaz

La fonction de la couche de collecte de biogaz est d'offrir un passage préférentiel au gaz émanant de la décomposition de matières organiques dans la décharge, facilitant ainsi sa gestion. Du gravier de dimension variant entre 30 et 90 mm est susceptible de remplir cette fonction (fig. 59). Dans la majorité des cas, le biogaz produit au sein du massif de déchets a une composition qui le rend inflammable, et les risques sont d'autant plus importants que des poches de gaz sous pression sont susceptibles de se former à cause de l'hétérogénéité des masses de déchets. Pour réduire ces risques, et ceux de véhiculer également des molécules toxiques et polluantes, il est crucial de canaliser le biogaz vers une station de traitement. Pour ce faire, les gaz sont acheminés par convection naturelle ou de préférence forcée (pompage mettant le CET en légère dépression) vers des puits de dégazage et ensuite vers la torchère ou les installations de valorisation énergétique.



**Fig. 59 : Schéma de construction d'un puits de dégazage**

#### 4.2.3. Les Géotextiles

Il est utile de placer du géotextile au-dessus de la couche de collecte de biogaz afin d'éviter l'infiltration de particules fines qui pourrait éventuellement réduire l'efficacité de la couverture à contrôler les émanations de gaz. L'utilisation d'une mèche avec densité de 320 gm/cm<sup>2</sup> ou plus est fortement conseillée.

#### 4.2.4. La Couche Argileuse

Selon la législation américaine (Title 40, Part 258, Subpart F), la perméabilité de la couverture finale doit être au moins égale ou inférieure à celle de la couche naturelle du sous-sol, et en aucun cas supérieure à 10<sup>-5</sup> cm/s (10<sup>-7</sup> m/s). L'épaisseur de cette couche varie entre 150 et 450 mm, selon l'absence ou la présence de géomembrane.

#### 4.2.5. La Géomembrane

L'avantage de placer une géomembrane est la perméabilité généralement très faible de celle-ci. Par contre, la géomembrane peut être endommagée à cause de tassements différentiels, ce qui rendrait la membrane une source permanente d'infiltration d'eau, contrairement à sa fonction initiale. L'utilisation de la géomembrane, reste donc tributaire de la disponibilité d'argiles. Une couche argileuse d'environ 450 mm d'épaisseur peut largement assurer cette fonction.

#### **4.2.6. La Couche de Drainage de l'Eau**

La couche de drainage d'eau sert à évacuer les eaux de précipitation hors du site, minimisant ainsi la production de lixiviat. Cette couche est formée de gravier identique à celui de la base d'une épaisseur d'au moins 30 cm.

#### **4.2.7. Les Couches de Sol Supérieures**

Les couches de sol supérieures servent principalement à contrôler les possibilités d'érosion du terrain, conservant ainsi l'intégrité de la couverture. Elles servent aussi de support pour la végétation et l'aménagement paysager final.

#### **4.2.8. Gestion des Lixiviats**

Le but du système de collecte de lixiviats est de transporter le liquide en dehors de la décharge le plus rapidement possible afin d'éviter le colmatage des systèmes drainants et la mise en charge des systèmes d'étanchéité. En effet, l'accumulation de quantités importantes de lixiviats au-dessus des membranes pourrait soumettre celles-ci à des tensions susceptibles d'occasionner des ruptures. Le réseau de canalisations mis en place dans la couche drainante de chacune des cellules sera repris par un collecteur général accessible. Les lixiviats collectés sont acheminés, selon les cas par gravitation ou par pompage, vers une station de traitement.

#### **4.2.9. Aménagements auxiliaires**

L'accès de la décharge devrait être facilité par une route bien aménagée. Il est conseillé d'avoir une route à deux voies d'une largeur minimale de 7,5 m. Le drainage devra être soigné pour éviter les risques d'inondation en périodes pluvieuses. C'est un point important compte tenu de la circulation fréquente de camions. Une clôture ceinturant le site permet de sécuriser les installations et de contrôler l'accès. Deux entrées, l'une principale et l'autre de secours, doivent être aménagées sur le site, de préférence à l'opposé l'une de l'autre. L'entrée principale est implantée en amont des vents dominants atteignant le CET de façon à limiter les désagréments liés aux odeurs des déchets frais. Un poste de contrôle doit y réguler la circulation des véhicules et une station de pesage doit évaluer les déversements de déchets.

D'autres bâtiments sont également construits sur le site pour accueillir les services administratifs (bureaux, laboratoires, réfectoires, etc.) et les services techniques (maintenance et dépôts de matériel de chantier, station d'épuration des lixiviats et de traitement des gaz, etc.).

## **5. Conclusion**

La décharge d'Annaba est l'une des nombreuses décharges non contrôlées de l'Algérie. Le site reçoit près de 500 tonnes/jour de déchets solides d'origines urbaine et industrielle stockés directement sur le sol. Connue sous le nom de Berka Zerga, elle est située à 15 km à l'ouest de la ville de Annaba. L'évaluation du risque sante humaine (EDR) scenario eaux souterraines a mit en évidence une contamination des eaux par les ETM, d'où la nécessité d'aménagement et de réhabilitation de ce site pollué.

Les critères de choix environnementaux, géologiques et économiques ont permis de dégager plusieurs options dont la plus efficace est la création d'un Centre d'enfouissement technique (CET) au sein même de la décharge. Les caractéristiques techniques concordent avec les exigences environnementales et atténueront certainement les effets nocifs de cette décharge.

## Conclusion générale

A l'issue de ce travail, on conclue que les secteurs étudiés (plaines de la Meboudja et de l'oued Zied) ont connu ces dernières années, de grands bouleversements environnementaux. En effet, le développement industriel et urbain dans La plaine de la Meboudja et l'installation de la décharge « sauvage » de Berka Zarga dans la plaine de l'oued Zied ont provoqué plusieurs cas de pollution au niveau des eaux de surface et souterraines. La mauvaise gestion de ces sites a conduit, donc, à la dégradation de la qualité de la vie et de l'environnement global.

Dans ce travail, nous avons tenté d'exposer les principaux résultats obtenus et de proposer des mesures urgentes pour stopper la dégradation de la qualité du milieu.

La plaine qui fait partie de l'ensemble géologique du Tell algérien Nord Oriental se caractérise par des unités stratigraphiques d'intérêt hydrogéologique très inégal. De haut en bas, on trouve Les recouvrements alluviaux formant la nappe phréatique ; vient ensuite un semi perméable et enfin la nappe profonde. Les bordures sont constituées, au sud, par le numidien et au nord par les terrains métamorphiques (gneiss, schistes, micaschistes, cipolins, calcaires métamorphiques). Ils forment des zones d'alimentations pour les deux nappes.

La région d'étude est soumise à un climat méditerranéen, doux et humide en hiver et chaud et sec en été et reçoit une moyenne annuelle de pluie qui varie entre 603 mm et 703 mm sous une température moyenne de l'ordre de 18°C. La RFU, commence à se reconstituer à partir du mois de Novembre, pour atteindre son maximum de 100 mm à partir de Décembre jusqu'à Avril, période pendant laquelle apparaît un excédent de l'ordre de 247mm, 147mm et 173mm respectivement pour les stations de Berrahal, Pont Bouchet et les salines. A partir du mois de Mai, la RFU commence à s'épuiser jusqu'au mois de juin où elle devient nulle. Le déficit agricole commence au mois de Juin jusqu'au mois d'Aout.

Le système aquifère de Annaba est constitué de formations du Mio-Plio-Quaternaire comblant une zone d'effondrement. L'étude géométrique confirme l'extension et la superposition des nappes superficielle et profonde qui sont séparées par un niveau semi-perméable. Celui ci disparaît au Sud de la plaine laissant se confondre les deux nappes.

L'étude hydrodynamique montre que la nappe superficielle (10-15m d'épaisseur) est formée de sable fin et gravier possède les caractéristiques suivantes : la transmissivité est très faible ( $10^{-6}$  à  $10^{-4}$  m<sup>2</sup>/s) ; la perméabilité moyenne est comprise entre  $10^{-6}$  et  $10^{-5}$  m/s et le coefficient d'emmagasinement est de l'ordre de 2 %. La nappe profonde ; semi-captive qui

devient captive à l'Ouest de la zone d'étude, est localisée à une profondeur de 12 à 80 mètres ; sa transmissivité est comprise entre  $5.10^{-5}$  et  $10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s.

L'observation des cartes piézométriques montre que dans les deux secteurs étudiés, la piézométrie est tributaire de plusieurs facteurs: les précipitations, la morphologie, le réseau hydrographique et l'état de la nappe (surexploitation).

Le sens de l'écoulement suit, en général, le modèle topographique. L'interaction réseau hydrographique – nappe est fonction des précipitations, c'est-à-dire, pendant les basses eaux, la nappe alimente l'oued alors que pendant les hautes eaux, c'est l'oued qui alimente la nappe. Dans l'ensemble, les secteurs étudiés se caractérisent par un gradient hydraulique faible d'où un écoulement lent dus à la topographie plane de la région et une perméabilité assez forte.

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

Les eaux des secteurs étudiés sont très minéralisées, parfois de mauvaise qualité et non potables dans plusieurs puits. De plus ces eaux impropres d'un point de vue organique car les valeurs de la DBO<sub>5</sub> sont assez élevées surtout au niveau des effluents urbains et industriels et dans des puits qui sont mal équipés et qui se trouvent au niveau de la nappe libre très vulnérable à la pollution.

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

L'absence, dans la quasi-totalité des cas, de traitement préalable des rejets industriels serait en grande partie responsable de la contamination des eaux souterraines de la région, par les métaux lourds. De même, les lixiviats de la décharge de Berka Zarga, en se déversant dans l'oued Gouila, contribueraient à la pollution métallique, d'autant plus que la décharge, n'est pas conçue selon les normes d'une décharge contrôlée : système d'étanchéité, collecteur de biogaz et de lixiviat.

Le traitement des données chimiques (métaux lourds) par le logiciel RISK4, montre qu'au niveau de l'oued Méboudja, l'indice du risque (chrome et plomb) pour la santé humaine est inacceptable, alors qu'il est acceptable pour le cuivre et le nickel.

Pour la plaine de l'oued Zied, L'indice du risque (chrome, cuivre et plomb) est inacceptable pour les deux catégories (enfant, adulte). Dans le cas du zinc, l'indice du risque ne pose aucun danger.

La présente étude a mis en évidence la présence d'un gradient de contamination métallique amont-aval dans toutes les zones étudiées. Les polluants sont présents à des concentrations d'importance variable d'un point de prélèvement à l'autre. La globalité des résultats montre que les eaux prélevées montrent des teneurs en éléments toxiques métalliques dépassant les normes.

Dans la perspective d'améliorer cette situation, une approche d'aménagement et de réhabilitation de la décharge de Berka Zarga a été proposée.

Les critères de choix environnementaux, géologiques et économiques ont permis de dégager plusieurs options de réhabilitation dont la plus efficace est la création d'un Centre d'enfouissement technique (CET) au sein même des terrains de la décharge. Les caractéristiques techniques concordent avec les exigences environnementales et atténueront certainement les effets nocifs de cette décharge.

**Au niveau de la plaine de la Meboudja des mesures d'urgence doivent être prises :**

- Les effluents non traités rejetés par les unités industrielles doivent être contrôlés pour maintenir les concentrations en dessous des standards de qualité des eaux notamment pour les métaux lourds.
- L'installation d'un réseau d'assainissement efficace au niveau des usines pour éviter la contamination des eaux souterraines par les eaux usées.
- Il faut bien aménager les terrains et les lieux de stockage des métaux pour qu'ils ne contribuent pas à la libération des ions métalliques ( $Fe^{++}$ ,  $Cu^{++}$ ,  $Ni^{++}$ , ...) lors de leur oxydation (7% des entreprises exercent cette activité).
- Des campagnes de contrôle de la qualité des eaux doivent être effectuées d'une manière systématique pour prévoir toute augmentation excessive des teneurs en éléments toxiques.

## Références bibliographiques

**AFNOR (Association Française de Normalisation), 2005.** Evaluation de la qualité des sols : Volume 1 : Méthodes d'analyse chimique ; Volume 2 : Méthodes d'analyses physique

**Agence de bassin hydrographique Constantinois -Seybouse- Mellegue, 2003.-** actualisation du Caneva 2003, Bassin de la Seybouse.

**Ahmed-Said Y., 1993.** The Edough leptynites, Annaba, NE Algeria, are they good indicators to the origin of the biotite gneisses?. Bulletin du Service Géologique de l'Algérie, volume 4, n°2, pp. 99-107.

**Benoune A., Laouar L., Ramoul H., 1986.** Essai d'aménagement d'une commune sub-littorale (cas d'El Hadjar). Mém d'ing. Univ Constantine. 123 p.

**Caby R., Hammor D., 1992.** Le massif cristallin de l'Edough (Algérie) : un "Metamorphic Core complex" d'âge miocène dans les Maghrébides. Comptes rendus de l'Académie des sciences. Série 2. Mécanique, physique, chimie, sciences de l'univers, sciences de la terre, 314 (08) 829-835.

**Castany G., 1982.** Principes et méthodes de l'hydrogéologie. Ed. Dunod, Paris, France. 238p.

**Chauve P., Mania J., Mignot C., Rémy F., Verjus Ph. 1986.** Interaction nappe-rivière et cycle de fer-manganèse dans la nappe alluviale de L'Ognon (Franche-Comté). Hydrogéologie, 1, 3-18

**Debieche T. H., Mania J., Mudry J., 2001.** Pollution d'une nappe alluviale par le chrome et l'étain à partir d'un stockage de résidus métallurgiques : application à la basse plaine de la Seybouse, Nord - Est Algérie, Africa Geoscience Review, Vol. 8, No 4, pp. 451 - 461

**Debieche T.H., 2002.** Evolution de la qualité des eaux (salinité, azote et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle. Application à la basse plaine de la Seybouse Nord-Est algérien. Th. Doct. Univ. de Franche-Comté, 199 p.

**Djabri L., 1996.** Mécanismes de la pollution et vulnérabilité des eaux de la Seybouse. Origines géologique industrielle, agricole et urbaine. Th. Doct. Es-Sciences, Univ. Annaba, 261p.

**Djorfi S., Hani A., Laouar R., Djabri L. 2008.** Impact des rejets industriels sur la qualité du milieu et sur les eaux de la nappe superficielle. Cas de la région de Annaba (Algérie). Bulletin du Service Géologique National, Alger/ Vol. 19 N°1- 2008. [www.mem-algeria.org/.../Bulletin\\_ANGCM\\_Janvier08.pdf](http://www.mem-algeria.org/.../Bulletin_ANGCM_Janvier08.pdf)

**Djorfi S., Fougou A., Majour H., Belloulou L., Hani A., Djabri L. 2009.** Impact de la décharge publique d'Annaba sur la qualité des eaux de la plaine de l'oued Zied. Revue COST N°8. [www.enset-oran.dz/spip.php?article305](http://www.enset-oran.dz/spip.php?article305)

**Gaud B., 1976.** Etude hydrogéologique du système aquifère d'Annaba - Bouteldja (synthèse des connaissances et recherche des conditions de modélisation) Rapport de l'ANRH. Algérie. 151p.

**Gleizes G., Bouloton J., Bossière G., Collomb P., 1988.** Données lithologiques et pétro-structurales nouvelles sur le massif cristallophyllien de l'Edough (Est-Algérien). C. R. Acad. Sci. Paris, t. 306, Série II, p. 1001-1008.

**Hammor, D., 1992.** Du Panafricain au Miocène : 600 millions d'années d'évolution polycyclique dans le massif de l'Edough (Algérie Nord Orientale). Retraces par la pétrologie, la tectonique et la géochronologie (U/Pb, Rb/Sr, Sm/Nd et  $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ ). Thèse de l'USTLanguedoc, Univ. de Montpellier II, 205 p.

**Hani, A., 2003.** Analyse méthodologiques de la structure et des processus anthropiques : application aux ressources en eau d'un bassin côtier méditerranéen. Th. Doct. Es-Sciences, Univ. Annaba. 214p.

**Hannouche, M., 1990.** Approche à l'étude des mécanismes de la pollution d'une nappe alluviale côtière (Annaba) en site industriel urbanisé. Traitement statistique des données Hydrochimiques. Mémoire de magistère. Univ. Annaba. 202p.

**Hilly J., 1962.** Etude géologique du massif de l'Edough et du Cap de Fer (Est constantinois).

**Joleaud L., 1936.** Etude géologique de la région de Bône et de la Calle. Bull. Serv. Carte Géol. de l'Algérie. 2<sup>e</sup> série, 12, 200p.

**Kherici N., 1993.** Vulnérabilité à la pollution chimique des eaux souterraines d'un système de nappes superposées en milieu industriel et agricole (Annaba la Mafragh-nord-est algérien). Th. Doct. Es-Sciences, Univ. Annaba. 170p.

**Lahondère J.C., 1987.** Les séries ultra-telliennes d'Algérie Nord oriental et les formations environnantes dans le cadre structural. Th. Doct. Es-Sci. Univ. Paul Sabatier, Toulouse, France, 238 p.

**Lekoui S. 2011.** Evaluation du risque lié aux sites pollués en milieu urbain et industriel (Annaba, Nord Est algérien). Mémoire de Magistère, Université Badji Mokhtar, Annaba. 138p.

**Louhi A., 1996.** Pollution des eaux et sols. Cas de la région de Annaba, Etude des interférences et dosage Al, Fe, Cu, Zn, Ni, Cr, Pb, Sn, V et Hg par spectrométrie d'émission Plasma-ARC (DCPAES), absorption atomique (SAA) et spectrophotométrie UV/VIS., Th. Doct. Univ. Annaba, 167p.

**Marre A., 1987.** Le Tell Oriental Algériens de Collo à la frontière Tunisienne. Etude géomorphologique, volume 1 et 2 O.P.U. Alger. Algérie.

**MATET** (Ministère de l'Aménagement du territoire, de l'Environnement et du Tourisme) : Guide des techniciens communaux pour la gestion des déchets ménagers et assimilés.

- MATET (2004)** : Atelier international sur le nouveau mode de gestion des déchets municipaux : le centre d'enfouissement technique (CET), janvier 2004.
- Mehdi M., 2008.** Caractérisation de la décharge publique de Tiaret-Algérie et son impact sur la qualité des eaux souterraines. Thèse de Doctorat en Sciences, Univ. Badji Mokhtar, Annaba. 203p.
- Nafâa, K., 1985.- Nappes superposées en région côtière, hydrodynamique et hydrochimie (aquifère de Annaba) Nord Est algérien. Th. Doct. Ing. USTL, Montpellier, 159p.
- McDonald, M.G., and Harbaugh, A.W., 1988.** A modular three-dimensional finite-difference groundwater flow model : Washington, DC, U.S. Geological Survey Open-file Report 83-875.
- O.M.S., 2004.** Guidelines for drinking-water quality, Vol. 1, Recommendations, 3<sup>rd</sup> Ed., World Health Organization, Geneva.
- Ramdani A., 1996.** Hydrogéologie et modélisation de la nappe dunaire de Bouteldja. Mém. Magistère Univ. de Annaba, 138p.
- Rodier J., 1996.** L'analyse de l'eau: Eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer, Ed. Dunod, 8<sup>ème</sup> Edition, Paris, 1383p.
- Sonatrach, 1966.** Esquisse structurale de la plaine de Annaba. Rapport A.N.R.H., inédit. Annaba, Algérie.
- Strojexport, 1975.** Prospection géophysique de la plaine de Annaba. Réinterprétation. Rapport A.N.R.H., inédit, Annaba, Algérie, 30 p.
- Travi Y., Mudry J. 1997.** Méthode pour l'évaluation et la gestion du risque nitrate dans les aquifères de socle de la zone sahéenne d'Afrique de l'Ouest. Hydrogéologie, n°1, pp. 13-21.
- USDA, RURAL DEVELOPMENT** Environmental Compliance Library Criteria for Municipal Solid Waste Landfills, Title 40, Part 258, Subpart F.
- Vila J.M. 1980.** La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins algéro-tunisiens, Th. Doct. Es-scie. Nat. Univ. Pierre et Marie - Curie, Paris VI, pp. 282-296.
- Zenati N., 1999.** Relation nappe-lac, Confirmation par l'hydrochimie, Cas de la nappe superficielle de la plaine Ouest d'El Hadjar, Lac Fetzara N-E Algérien, Mémoire de magistère, Univ. Annaba, 148p.