

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد الصديق بن يحيى - جيجل

Université Mohammed Seddik Benyahia-Jijel

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie  
Département : des Sciences de la Terre  
Et de l'Univers



كلية علوم الطبيعة والحياة  
قسم: علوم الأرض والكون

## Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme : Master Académique en Géologie

Option : Eau et Environnement

Thème

**Etude de pollution d'Oued Meboudja et risque sur  
la santé humaine (Annaba Nord-est Algérien)**

### Membres de Jury

Président : Zahi.F

Examineur: DROUCHE.A.M

Encadrant :DJORFLS

### Présenté par:

BOUFEDECHE Asma

MEKIRED Chaima

Année Universitaire 2017-2018

Numéro d'ordre (bibliothèque) : .....



## **DÉDICACE**

JE DÉDIE CE MODESTE TRAVAILLE

À MON CHER PÈRE ALLOUA ET MA CHER MÈRE  
RACHIDA POUR LEURS SOUTIENS, LEURS PATIENCES ET  
LEURS SACRIFICES

À MON GRAND-PÈRE QUE DIEU AIT PITIÉ D'IL ; JE  
SOUHAITAIS QUE TU SOIS ÊTRE PRÉSENT POUR ME  
PARTAGER MA JOIE

À MES GRAND-MÈRE HEDRIA ET KHOUDJIA

À MES CHERS FRÈRES OUSSAMA ET MOHAMED AMIN

À MES CHERS SŒUR SARA ET LINA

À MESCHÈRES TANTE FATIHA, WAHIBA ET NADIA

À MES ONCLES FARID ET SAMIR

À MES CHÈRES AMIES : SOUMIA, RIMA, AYA, WAHIDA, AMIRA

À MA TANTE LOUIZA ET MES COUSINS HADJAR, ZINEB, IMAN  
ET SALAH

À TOUTE MA GRANDE FAMILLE

À MON BINÔME MEKIREDCHIAMA

À TOUS CEUX QUI TRAVAILLENT POUR LE BONHEUR DE L'HUMANITÉ.

B. ASMA



# ***DÉDICACES***

POUR MON PÈRE ABDELMADJID QU'ALLAH LUI FASSE  
MISÉRICORDE

POUR MA MÈRE HADJIRA SAUVÉ PAR DIEU

À MON MARI KARIM, M'A TOUJOURS SOUTENU

À MON FILS BIEN-AIMÉ DJAWAD

À MA TANTE GHANIA ET MON ONCLE ABDELKRIM

À TOUS MES FRÈRES ET SŒURS

À TOUTE MA FAMILLE ET À LA FAMILLE DE MON MARI

À MA CHER YASMIN

À MA COLLÈGUE ASMA

À TOUS MES PROFESSEURS

JE TE DONNE CE TRAVAIL HUMBLE

M.CHAIMA

# Sommaire

المخلص

Résumé

Abstract

Sommaire

Liste des Figures

Liste des Tableaux

Introduction Générale ..... 1

## Chapitre I

### Aperçu géographique et économique

1. Situation géographique.....	4
2. Situation hydrographique : .....	5
2.1. Le bassin Côtiers Constantinois Centre.....	5
2.2. Le bassin de la Seybouse :.....	5
2.3. Le réseau Hydrographique :.....	6
2.3.1 Caractéristiques de sous bassin versant du lac Fetzara :.....	6
2.3.2 L'oued Meboudja :.....	7
2.3.3 L'oued Seybouse :.....	7
3. Contexte socio-économique :.....	7
3.1. Population :.....	7
3.2. Agriculture :.....	9
3.3. L'industrie :.....	10
4. Ressources et besoins en eau :.....	12
4.1. Ressources en eau :.....	13
4.2. Besoin en eau :.....	13
4.2.1. Besoins en eau potable (AEP) :.....	13
4.2.2. Besoins en eau d'industrie (AEI) :.....	13
4.2.3. Besoins en eau d'irrigation :.....	13
5. Conclusion :.....	14

## Chapitre II :

### Cadre géomorphologique et géologique

1. Cadre géomorphologique :.....	16
1.1. Les bassins versants :.....	16
1.1.1. Le bassin d'oued Meboudja:.....	16
1.2. La plaine :.....	16
1.3. Les plages :.....	16
2. Cadre géologique :.....	17
2.1. Stratigraphie :.....	17
2.1.1. Formations sédimentaires :.....	17
2-1-2. Formations métamorphiques :.....	19
2-2. Tectonique :.....	21
2-2-1. Les unités tectoniques :.....	22
2-2-2. Effondrement de la plaine de Annaba :.....	22
3. Conclusion :.....	23

## **Chapitre III : Hydroclimatologie**

1. Introduction :	26
2. Stations de mesures :	26
3. Facteurs climatiques :	27
3.1. Précipitations :	27
3.1.1. Représentation mensuelle des précipitations :	27
3.1.2. Coefficient pluviométrique:	29
3.2. Température :	31
3-2-1. Diagramme ombro thermique (pluvio thermique) :	33
3.4. Le vent :	33
3.5. L'humidité :	34
4. Bilan hydrique :	34
4.1. Evapotranspiration :	34
4.1.1. Evapotranspiration potentielle (ETP) :	35
4.1.2. Evapotranspiration Réelle (ETR) :	35
4.2. Ruissellement (R) :	37
4.3. Infiltration (I) :	37
4.4. Bilan hydrique selon Thornthwaite :	38
4.4.1. Représentation graphique du bilan hydrique :	40
4.4.2. Interprétation du bilan hydrique :	42
5. Conclusion :	44

## **Chapitre IV : Caractéristiques hydrogéologiques**

1. Introduction :	45
2. Description des différents aquifères :	45
2.1. Aquifère superficiel :	45
2.1.1. Nappe des gneiss altérés :	46
2.1.2. Nappe du cordon dunaire :	46
2.1.3. Nappe des cailloutis des terrasses :	46
2.1.4. Nappe des alluvions récentes et actuelles :	46
2.2. Aquifère profond :	47
2.2.1. Nappe des cipolins :	47
2.2.2. Nappe des graviers :	47
3. La piézométrie :	49
3.1. La plaine de l'oued Méboudja :	49
3.2. La plaine de l'oued Zied - décharge de BerkaZerga :	51
4. Conclusion :	54

## **Chapitre V : CARACTERISATION DE LA POLLUTION**

1. Introduction :	55
2. Plaine de l'oued Meboudja :	55
2.1. Présentation du complexe Arcelor Mittal Steel :	55
2.1.1. Activité du complexe :	57
2.1.2. Les rejets du complexe sidérurgique Arcelor Mittal Steel :	57
2.2. Zones industrielles Meboudja et Pont Bouchet :	59
2.3. Pollution des eaux et des sols :	60
2.3.1. Inventaire des points de prélèvement :	60

2.3.2. Pollution des sols :	61
2.3.3. Pollution des eaux :	62
2.4. Interprétation des résultats :	63
2.4.1. La température des eaux :	64
2.4.2. Le pH :	65
2.4.3. La conductivité électrique (CE) :	65
2.4.4. Solide total dissous (TDS) :	66
2.4.5. La DBO5 :	67
2.4.6. Demande Chimique en Oxygène (DCO) :	68
2.4.7. Les métaux lourds :	69
3. Conclusion :	74

## **Chapitre VI :**

### **EDR Santé et approche d'aménagement et de réhabilitation**

1. Introduction	76
2. Evaluation du risque (EDR) sur la santé humaine :	76
2.1. La toxicité des métaux lourds :	77
2.1.1. Le Chrome (Cr) :	77
2.1.2. Le Plomb (Pb) :	78
2.1.3. Le Fer total (Fe. T) :	79
2.1.4. Le Cuivre (Cu) :	79
2.1.5. Le Nickel (Ni) :	80
2.1.6. Le Zinc (Zn) :	80
2.2. Evaluation des risques des métaux lourds sur la santé :	81
2.2.1. Définition des concentrations d'exposition :	81
2.2.2. Estimation des doses d'exposition :	81
2.2.3. Estimation du risque :	83
2.2.4. Application numérique :	83
3. Conclusion :	86
Conclusion générale	87
Reference bibliographique	90

## الملخص

إن تلوث المياه هو مفهوم دائم التطور. أصبح يشكل في يومنا هذا خطرا حقيقيا يهدد البيئة ومن ثمة صحة الإنسان بسبب المناخ الحيد والموقع الجغرافي المناسب الذي يتميز به سهل عنابة استغل هذا الأخير في مجالين ساهما بشكل كبير في تدني نوعية المياه وهما الزراعة والصناعة، الدراسة المنجزة حول نوعية المياه الجوفية ومياه وادي مبعوجة لمدة متوسطة أظهر نسبة التلوث الكبيرة في هذا الوادي بشكل خاص ثم على مستوى المياه الجوفية أظهرت نتائج هذه الدراسة وجود نسب كبيرة من المعادن الثقيلة كالكروم (Cr)، الرصاص (Pb) والنحاس (Cu) ومن العناصر العضوية مثل النتريت ( $NO_2$ ) والفوسفات ( $PO_4$ ) وأخير العناصر المعدنية مثلا الكالسيوم (Ca)، المغنيزيوم (Mg)، السلفات ( $SO_4$ ) وخصوصا الكلور (Cl) والصوديوم (Na)، هذه النتائج تبين المصادر المختلفة للتلوث والتي قد تكون صناعية بالنسبة للمعادن الثقيلة، زراعية وحضرية بالنسبة للعناصر العضوية وطبيعية عن طريق تحلل الصخور بالنسبة للعناصر المعدنية

**الكلمات المفتاحية:** وادي مبعوجة، المياه الجوفية، التلوث، المعادن الثقيلة، التمدن، التفاعل، وادي -طبقة مائية.

## ***ABSTRACT***

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

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

The study carried out on the quality of subsoil waters and the Meboudja wadi over one ten months period shows strong pollution in particular wadi and then of the tablecloths which evolves according to time and of space. The existence of strong concentrations primarily out of heavy metals such as Cr, Lead and copper, in organic elements such as  $\text{NO}_2$ ,  $\text{PO}_4$  and in major elements of mineralization like Ca, Mg,  $\text{SO}_4$  and especially Cl and Na, indicates a multiple origin of the pollution which seems to be industrial for the first, agricultural and urban for the second and natural by the action of geological crubbings of the formation for the third.

**Keywords:** Meboudja wadi, Ground water, Pollution, Heavy metals, Mineralization, stream-aquifer interaction.



# *Résumé*

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

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

L'étude effectuée sur la qualité des eaux souterraines et de l'Oued Meboudja sur une période de moyen terme montre la forte pollution notamment de l'oued et ensuite des nappes qui évolue en fonction du temps et de l'espace. L'existence de fortes concentrations essentiellement en métaux lourds tels que le Cr, le Pb et le Cu, en éléments organiques tels que NO<sub>2</sub>, PO<sub>4</sub> et en éléments majeurs de la minéralisation comme le Ca, Mg, SO<sub>4</sub> et surtout le Cl et le Na, indique une origine multiple de la pollution qui semble être industrielle pour les premiers, agricole et urbaine pour les seconds et naturelle par l'action de lessivages des formations géologiques pour les troisièmes.

**Mots clés :** Oued Meboudja, Eau souterraine, Pollution, Métaux lourds, Minéralisation, Oued-nappe Interaction.



# Remerciement

*On remercie tout d'abord le bon dieu qui nous a aidés de terminer ce travail,*

*« Ahmadou li ALLAH ».*

*On tient à remercier très vivement et respectueusement notre promoteur Monsieur Djorfi Samir Maitre-assistant à l'université de Tijel, pour avoir accepté d'être rapporteur de ce travail.*

*Nos remerciements aussi vont aux membres de jury : Zaki Faouzi et A. Derouiche (Maitre conférence) pour avoir accepté d'examiner notre mémoire et qui nous ont fait l'honneur d'accepter d'être dans le jury de notre soutenance de fin d'étude.*

*On tient aussi à remercier vivement et sincèrement Mr boussebt Mahfoud de ces remarques concernant ce thème.*

*Une grande reconnaissance à tous nos enseignants du département des sciences de la terre et de l'univers.*

*En fin nous passons nos remerciements à tous nos amis et collègues pour leurs encouragements, soutiens et pour tous les bons moments que nous avons passés ensemble.*

**MERCI**



## **LISTE DES TABLEAUX**

<b>Tableau.1.</b> Quelques caractéristiques de sous bassin versant du lac Fetzara .....	6
<b>Tableau.2.</b> Répartition de la population de la région d'Annaba (Source ONS 2008).....	7
<b>Tableau.3.</b> Bilan de la production d'eau (m <sup>3</sup> /j).Source : SEATA (Société de l'Eau et l'Assainissement de Tarf et Annaba) .....	12
<b>Tableau.4.</b> Coordonnées des stations météorologiques et période d'observation.....	26
<b>Tableau.5.</b> Précipitations moyennes mensuelles en (mm) des trois stations : Les Salines, Pont Bouchet et Berrahal (1978-2007) .....	27
<b>Tableau.6.</b> Coefficient pluviométrique des stations étudiées (1978-2007).....	30
<b>Tableau.7.</b> Températures moyennes mensuelles en °C à la station des Salines(1978-2007)...	32
<b>Tableau.8.</b> Vitesse du vent en (m/s) à la station des Salines (2002-2006).....	33
<b>Tableau.9.</b> L'humidité moyenne mensuelle en (%) à la station des Salines (1984-2005) .....	34
<b>Tableau.10.</b> Résultats de l'ETP, formule de « Thornthwaite », Station des Salines (1978-2007). .....	35
<b>Tableau.11.</b> Résultats de l'ETR, formule de « Turc »(1978-2007).....	36
<b>Tableau.12.</b> Ruissellement selon « Romantchouk » (1978-2007) .....	37
<b>Tableau.13.</b> Estimation de l'infiltration par l'équation fondamentale du bilan hydrique .....	38
<b>Tableau.14.</b> Estimation de la RFU selon la formule de Hallaire.....	39
<b>Tableau.15.</b> Bilan hydrique, méthode de « Thornthwaite » pour la station des Salines (1978-2007).....	39
<b>Tableau.16.</b> Bilan hydrique, méthode de « Thornthwaite » pour la station de Pont Bouchet	

(1978-2007) .....	40
<b>Tableau.17.</b> Bilan hydrique selon la méthode de « Thornthwaite » pour la station de Berrahal (1978-2007) .....	40
<b>Tableau.18.</b> Paramètres hydrodynamiques des aquifères de la plaine d'Annaba .....	47
<b>Tableau.19.</b> Types et quantité de rejets provenant de l'unité Arcelor MittalSteel.....	58
<b>Tableau.20.</b> Inventaire des usines existant dans la région d'étude. Source : Agence des bassins hydrographiques .....	59
<b>Tableau.21.</b> Concentration du Chrome dans le sol (ppm) ; (Djorfi, 2008) .....	62
<b>Tableau.22.</b> Caractéristiques physico chimiques des eaux de la nappe superficielle. Ds : écart type ; CE : conductivité électrique ; les teneurs chimiques en mg. L-1. (Djorfi, 2008).....	63
<b>Tableau.23.</b> Les lignes directrices de l'OMS sur la qualité de l'eau potable .....	64
<b>Tableau.24.</b> Normes algériennes des rejets .....	64
<b>Tableau.25.</b> Indice du risque total pour l'usage des eaux de surface (plaine Meboudja) .....	84

## LISTES DES FIGURES

<b>Figure.1.</b> Situation géographique de la wilaya de Annaba .....	3
<b>Figure.2.</b> Situation géographique de la zone d'étude .....	4
<b>Figure.3.</b> Situation hydrographique de la zone d'étude .....	5
<b>Figure.4.</b> Carte d'occupation du sol par l'industrie et la décharge autour du lac Fetzara .....	11
<b>Figure.5.</b> Situation des sites de rejets dans l'oued Meboudja.....	11
<b>Figure.6.</b> Représentation graphique des besoins en eau selon les trois secteurs .....	13
<b>Figure.7.</b> Géomorphologie de la plaine d'Annaba (In Khalfaoui, Medjani 2005). .....	16
<b>Figure.8.</b> Extrait de la carte géologique de l'extrême nord est algérien(d'après J.M.VILA. 1978).....	20
<b>Figure.9.</b> Situation géologique et structurale des plaines de la région deAnnaba-Bouteldja ..	21
<b>Figure.10.</b> Coupe schématique du fossé d'effondrement de la basse.....	22
<b>Figure.11.</b> Histogramme des précipitations moyennes mensuelles de la stationDes Salines (1978- 2007). .....	28
<b>Figure.12.</b> Histogramme des précipitations moyennes mensuelles de la station de Pont Bouchet (1978-2007). .....	28
<b>Figure.13.</b> Histogramme des précipitations moyennes mensuelles de la station deBerrahal (1978- 2007).....	29
<b>Figure.14.</b> Diagramme du coefficient pluviométrique dans les trois stations de mesure (1978-2007). .....	31
<b>Figure.15.</b> Températures moyennes mensuelles de la station des Salines durant la période (1978- 2007).....	32

<b>Figure.16.</b> Diagramme ombrothermique de la station des Salines (1978-2007).....	33
<b>Figure.17.</b> Représentation graphique du bilan de Thornthwaite : Station des Salines (1978-2007).....	41
<b>Figure.18.</b> Représentation graphique du bilan de Thornthwaite : Station de Pont Bouchet (1978- 2007).....	41
<b>Figure.19.</b> Représentation graphique du bilan de Thornthwaite : Station de Berrahal (1978/2007).....	42
<b>Figure.20.</b> Situation, esquisse et coupe hydrogéologique de la plaine de Kherraza .....	48
<b>Figure.21.</b> Situation, esquisse et coupe hydrogéologique de la basse Seybouse - Meboudja.	48
<b>Figure.22.</b> Carte d’inventaire des points d’eau dans le bassin de l’oued Méboudja au niveau d’Arcelor Mittal Steel Avril, 2008 .....	50
<b>Figure.23.</b> Carte piézométrique dans le bassin de l’Oued Meboudja avril 2008 (In Lekoui S.2011) .....	51
<b>Figure.24.</b> Carte d’inventaire des points d’eaux dans la plaine de L’oued Zied, Mars, 2011.	52
<b>Figure.25.</b> Carte piézométrique de la plaine de L’oued Zied, Mars, 2011 .....	53
<b>Figure.26.</b> Contexte géologique et hydrogéologique du site industriel d’El Hadjar (Debieche T. H., 2002) .....	56
<b>Figure.27.</b> Carte d’inventaire des points de prélèvement, plaine Meboudja .....	61
<b>Figure.28.</b> Evolution des valeurs du chrome dans le sol depuis le complexe sidérurgique jusqu’à la mer. ....	62
<b>Figure.29.</b> Evolution spatiale du pH des eaux de la plaine de la Meboudja.....	65
<b>Figure.30.</b> Evolution spatiale de la conductivité électrique des eaux plaine de la Meboudja.	66

<b>Figure.31.</b> Variation spatiale du TH des eaux de la plaine de la Meboudja.....	67
<b>Figure.32.</b> Evolution spatiale de la DBO5 des eaux de la plaine de la Meboudja. ....	68
<b>Figure.33.</b> Carte de la DCO des eaux de la Meboudja .....	69
<b>Figure.34.</b> Evolution du Cr des eaux de la plaine de la Meboudja.....	70
<b>Figure. 35.</b> Evolution spatiale du Pb des eaux de la plaine de la Meboudja .....	71
<b>Figure.36.</b> Evolution du Fer Total des eaux de la plaine de la Meboudja.....	71
<b>Figure.37.</b> Evolution spatiale du Cu des eaux de la plaine de la Meboudja.....	72
<b>Figure.38.</b> Evolution spatiale du Ni des eaux de la plaine de la Meboudja .....	74
<b>Figure.39.</b> Indice du risque total du Cr dans l'Oued Meboudja .....	85
<b>Figure.40.</b> Carte de L'IR du Cr pour l'enfant et l'adulte (Oued Meboudja).....	85

## **Introduction générale**

L'eau est un élément biologique important en tant que support de vie et facteur du développement des pays. Elle est considérée comme un vecteur privilégié de l'activité humaine.

La gestion des eaux qualitativement et quantitativement est un problème d'ordre socio-économique et écologique, car l'eau douce, élément constitutif du cycle de l'eau, est une ressource indispensable à la vie. Depuis toujours, sa disponibilité a guidé l'apparition et le développement d'organismes vivant sur la planète.

L'altération de l'environnement naturel, notamment le milieu aquifère est devenu progressivement une préoccupation mondiale. En Algérie la principale source de satisfaction de la demande en eau est l'eau Souterraine du fait de sa disponibilité et son exploitation relativement facile.

La croissance démographique et la modernisation de l'agriculture entraînent un grand problème de détérioration de la qualité, à cause des rejets industriels non contrôlés, de l'utilisation intensive des engrais chimique dans l'agriculture et l'exploitation désordonnée des ressources en eau. Le problème de cette ressource rare et vitale se pose tant dans sa mobilisation, que dans sa protection et sa préservation. Aussi une prise de conscience a débuté pour tenter de protéger l'eau contre toute source de pollution qui constitue un risque permanent de limitation de la ressource en eau dans un proche avenir.

Nous nous bornerons à présenter les principaux résultats de ce travail, dont le premier chapitre est tout naturellement consacré à l'étude du complexe physique de la zone d'étude . Toute fois, bien que sous sa forme originale, l'analyse des caractéristiques physiques (forme, relief et couverture végétale), en effet l'hétérogénéité lithologique et structurale élevée, ne constituent donc qu'une première étape d'interprétation qui reste encore très difficile dans la connaissance des phénomènes hydrologiques et hydrogéologiques.

Une place plus importante à travers le deuxième chapitre est dévolue cependant aux caractéristiques des terrains constitutifs et à la nature lithologique du remplissage quaternaire .

Le troisième chapitre comprend pour sa part un commentaire succinct des principaux paramètres hydroclimatologique avec une estimation des paramètres essentiels du bilan, et des aperçus hydrologiques, dévoilant ainsi la pluviométrie importante caractérisant la région.



Un quatrième chapitre définissant le contexte hydrogéologique pour pouvoir faire la liaison entre la ressource hydrique et la nature lithologique des aquifères ainsi que l'interaction entre les eaux souterraines et les eaux de surface, et par conséquent la détermination du sens de transfère des différents éléments polluants.

Le cinquième et le sixième chapitre sont destinés respectivement à la caractérisation de la pollution et l'évaluation du risque sur la santé humaine et l'environnement, et éventuellement la clôture de ce modeste travail comportedes suggestions et des recommandations pour protéger l'écosystème et réhabiliter le site.

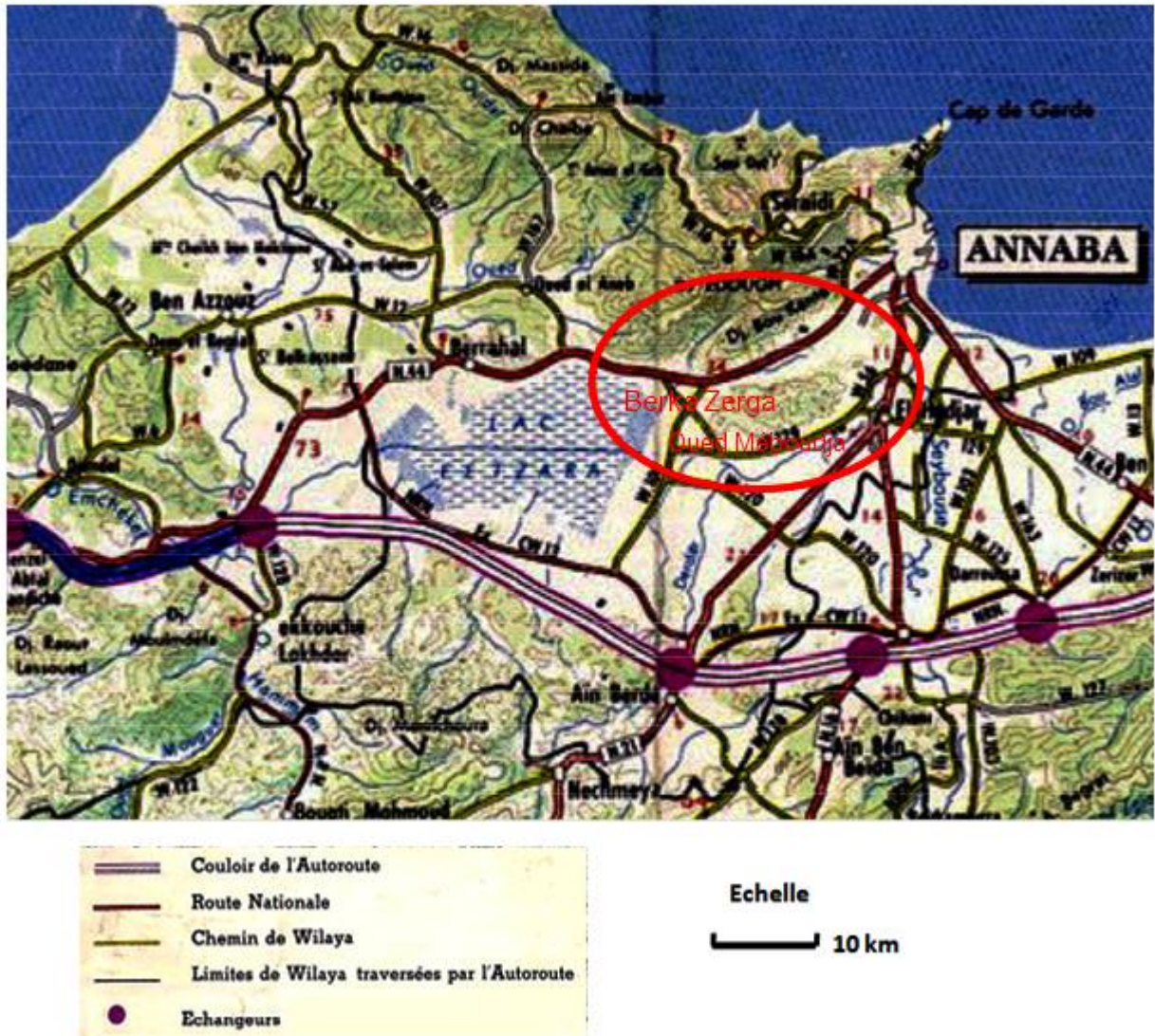
## 1. Situation géographique

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 (figure. 01).



**Figure.01** : Situation géographique de la wilaya de Annaba.

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 (Figure. 02).



**Figure.02** : Situation géographique de la zone d'étude.

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

A l'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 (Figure.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 concentrée 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 d'étude est principalement drainée par les oueds débouchant dans le lac Fetzara (tableau. 01) et ceux du versant sud-Est du massif de l'Edough. La partie orientale est drainée par l'oued Seybouse.

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

Le réseau hydrographique de sous bassin est constitué des oueds :

**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 : 31	Capacité (m <sup>3</sup> ) : 2563000	Destination : Irrigation
Alimentation en eau potable	Nombre de réservoirs : 17	Volume (m <sup>3</sup> ) : 5920	

##### 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 :

Ce cours d'eau qui alimente le lac Fetzara (10Km 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>.

### 2.3.2 L'oued Meboudja :

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 de 20m<sup>3</sup>/s (Bounouna et al, 1986).

La Meboudja rejoint oued Seybouse près de l'embouchure. Le débit de l'oued Meboudja est moins important que celui de l'oued Seybouse. Une estimation de son débit (la Meboudja) par jaugeage au flotteur pendant la période de Février -Décembre 1999 a donné des valeurs ne dépassent pas les 20 m<sup>3</sup>/s (Agence National des bassines hydrographique) ; 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 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>.

## 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), (tableau. 02).

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

Commune	Cités	Estimation 2008
Annaba		233927
Oued El-Aneb	Laïb Amar, Oued Zied 1, Zone éparsé	21000

<b>El-Hadjar</b>	El-Kerma, Houraïcha, Sainte Marie, El-Hadjar, Zone éparsé	38436
<b>Sidi Amar</b>	Sidi Amar, Hadjar-Eddiss, DerradjiRedjem, Bergouga, DerradjiRedjem, El-Gantra, Zone éparsé	80292
<b>El-Eulma</b>	El-Eulma, El-Hashassia, Sidi-Hamed, Zone éparsé	10463
<b>Cheurfa</b>	Cheurfa, Azizi Ahmed, Zone éparsé	9883
<b>El-Bouni</b>	Oued Zied 2, El-Bouni, Zone éparsé	130568
<b>Berrahal</b>	Guerch, Kalitoussa, Berrahal, Zone éparsé	22278
<b>Seraïdi</b>		7451
<b>Treat</b>		6066
<b>Chetaibi</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'autre 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 Communes de : El Eulma, Cheurfa, El Hashassia, Aziz Ahmed, Sidi Hamed et El Gantra. Ce sont des zones dépourvues d'axes de communication.

➤ ***Zone moyennement peuplée :***

Ce sont les Cites : d'El Kerma, Houraïcha, Griche, Hadjar Eddiss,. 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 cervelières :***

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

**Les cultures industrielles :**

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

**Les cultures maraîchères 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 et au niveau de la lunette sableuse qui sépare le Lac Fetzara et la plaine Ouest d'El Hadjar.

**3.3. L'industrie :**

Elle occupe dans la région une place importante, elle se positionne surtout en bordures du lac Fetzara, de l'oued Meboudja et de la Seybouse (figure. 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.

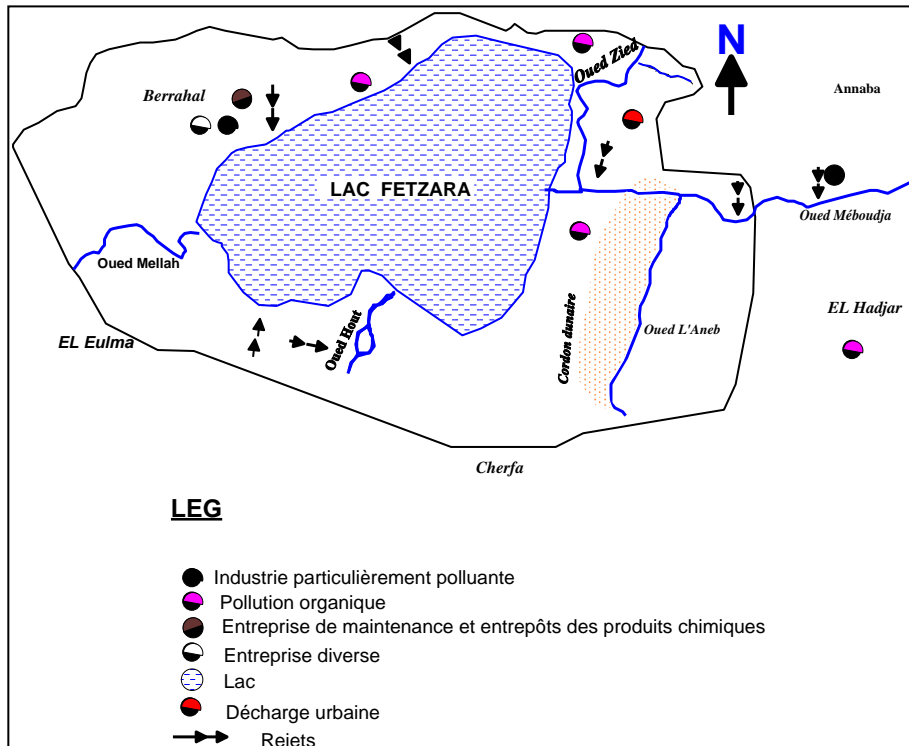


Figure.04 : Carte d'occupation du sol par l'industrie et la décharge autour du lac Fetzara.

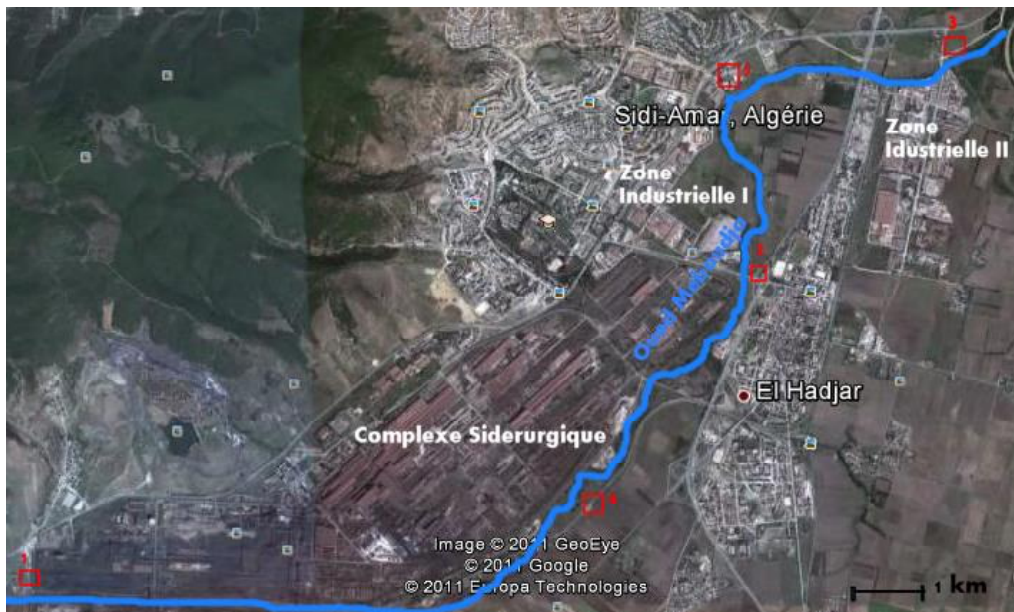


Figure.05 : Situation des sites de rejets dans l'oued Méboudja.

(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 (tableau. 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		
Barrage Mexa	55 000	28 000	10 000	
Nappe Bouteldja	36 000	20 100	27 000	30 000
Nappe Salines	7 000	7 000	15 900	
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 HM<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 wilaya 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 (3) 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 (figure. 06). Ils sont Globalement estimés à près de 200l / 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 (58869hab.).

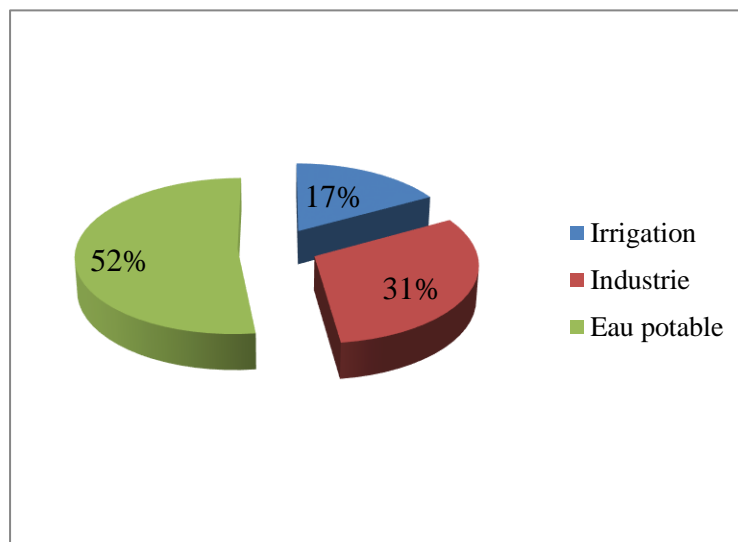
La dotation moyenne est de 140l / j / hab. dont la moyenne nationale est de 150l / j / hab.

### 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, les besoins en eau d'irrigation sont de l'ordre de 17 %.



**Figure.06 :** Représentation graphique des besoins en eau selon les trois secteurs.

## **5. Conclusion :**

La plained'Annaba 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. 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.

## 1. Cadre géomorphologique :

La zone d'étude est caractérisée par diverses unités géomorphologiques dont les formations quaternaires sont les plus dominantes formant ainsi le siège des nappes aquifères (figure.07).

Les principales unités géomorphologiques sont :

### 1-1. Les bassins versants :

La zone d'étude se caractérise par:

#### 1-1-1. Le bassin d'Oued Mebouja :

Qui présente un affluent de l'oued sybouse.

### 1-2. 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.

### 1-3. Les plages :

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

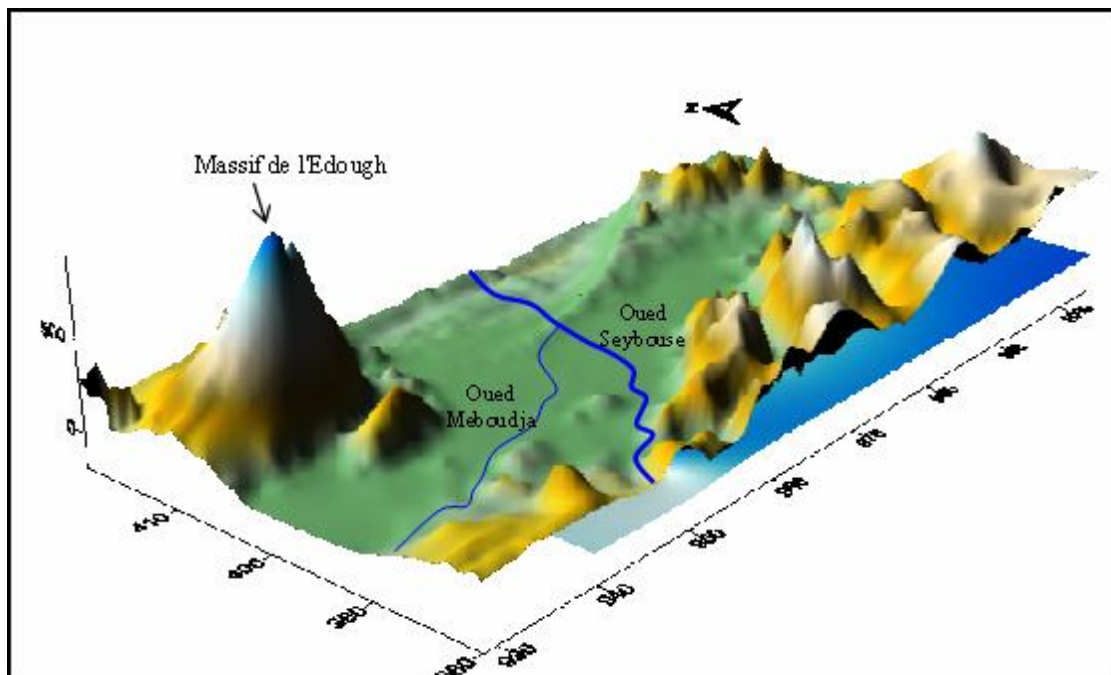


Figure.07 : Géomorphologie de la plaine de Annaba (In Khalfaoui, Medjani 2005).

## **2. Cadre géologique :**

La région d'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 (figure. 08) :

- L'un sédimentaire occupe la majeure partie de la plaine.
- L'autre métamorphique occupe la partie Ouest de la plaine (les massifs 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 d'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 d'Annaba.

##### **2-1-1-2-3. L'Eocène inférieur :**

Série transgressive formée de calcaires massifs à faciès épi néritique.

#### **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 d'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 d'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 cristallophylliennes :

- Une série des gneiss ocellés, 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.

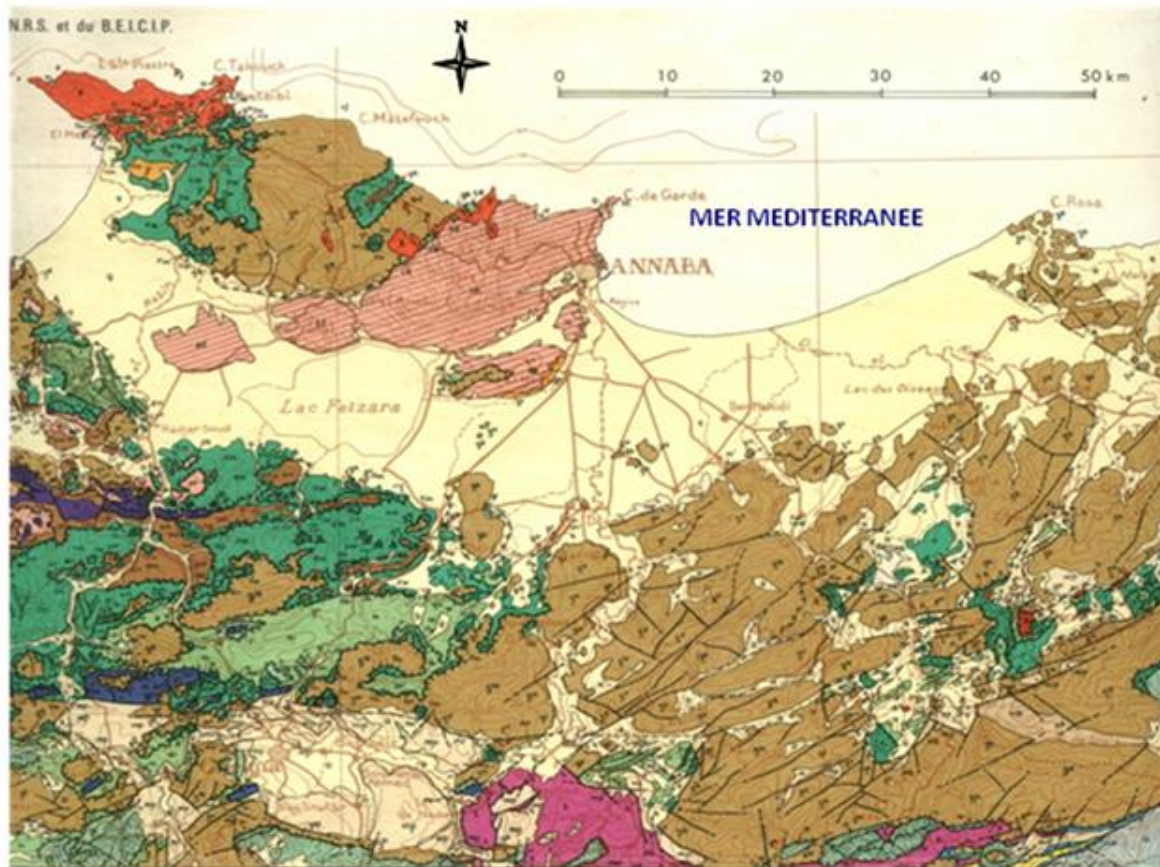


Figure.08 : Extrait de la carte géologique de l'extrême nord est algérien

(D'après J.M. VILA. 1978).

## 2-2. Tectonique :

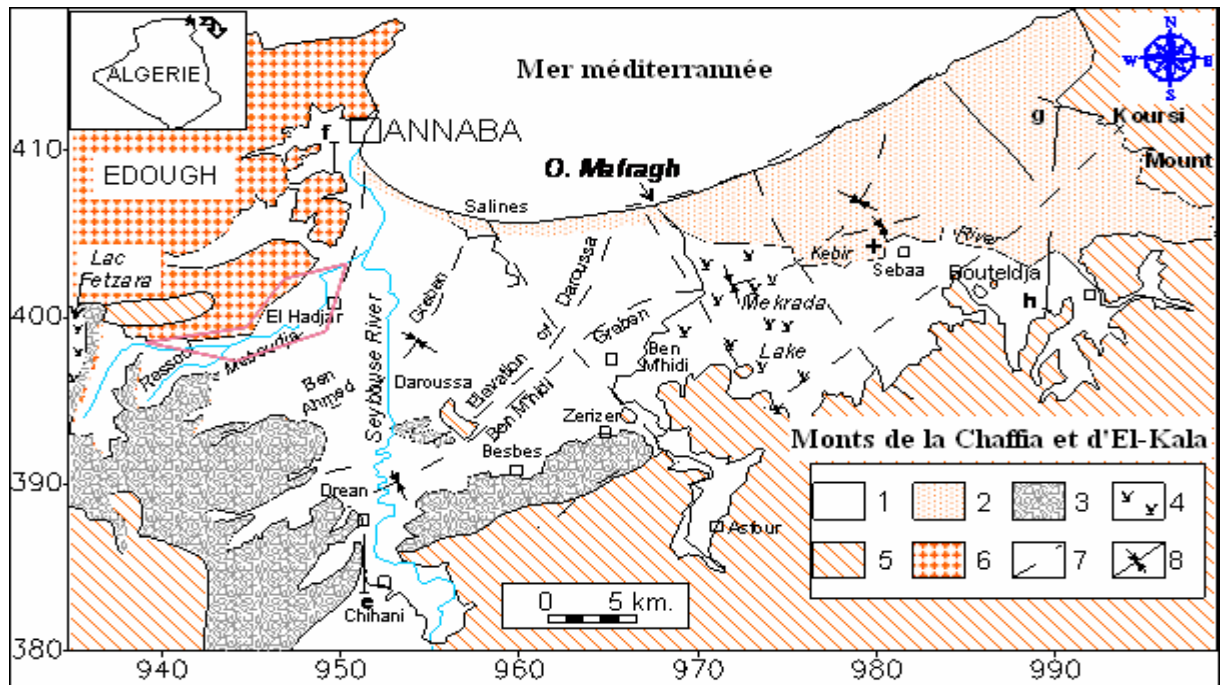
L'hypothèse de Numidien autochtone avancée par L. JOLEAUD (1936) (une étude géologique d'Annaba et des monts d'El-Kala) est réfutée actuellement par les résultats des travaux de recherche sur la géologie structurale de l'Algérie du Nord-Est.

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 (figure. 09).



**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.

**Figure. 09 :** Situation géologique et structurale des plaines de la région d'Annaba-Bouteldja. (D'après STROJEXPORT, 1975, in A. HANI 2002) modifiée par Boughrira.N.

### 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 flysch 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 flysch d'âge 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 (figure. 10).

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

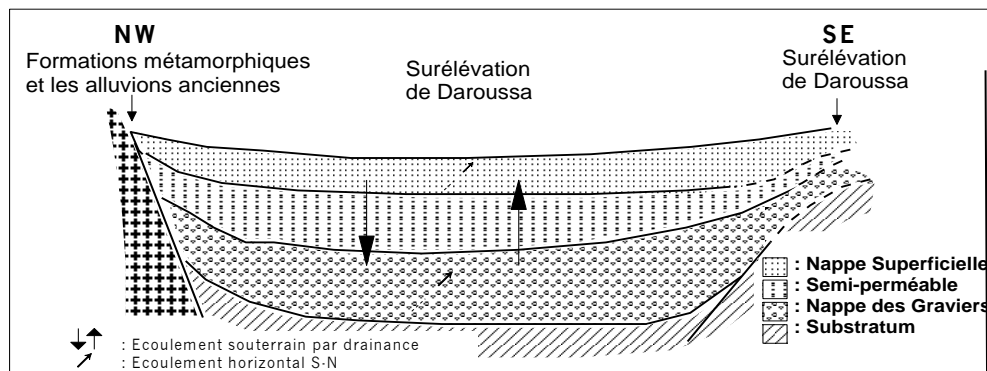


Figure.10 : Coupe schématique du fossé d'effondrement de la basse

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.

## 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 (tableau.04).

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

Paramètres Stations	Code	X (km)	Y (km)	Altitude (m)	Période 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 (tableau.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 (figure. 11, 12, et 13) :

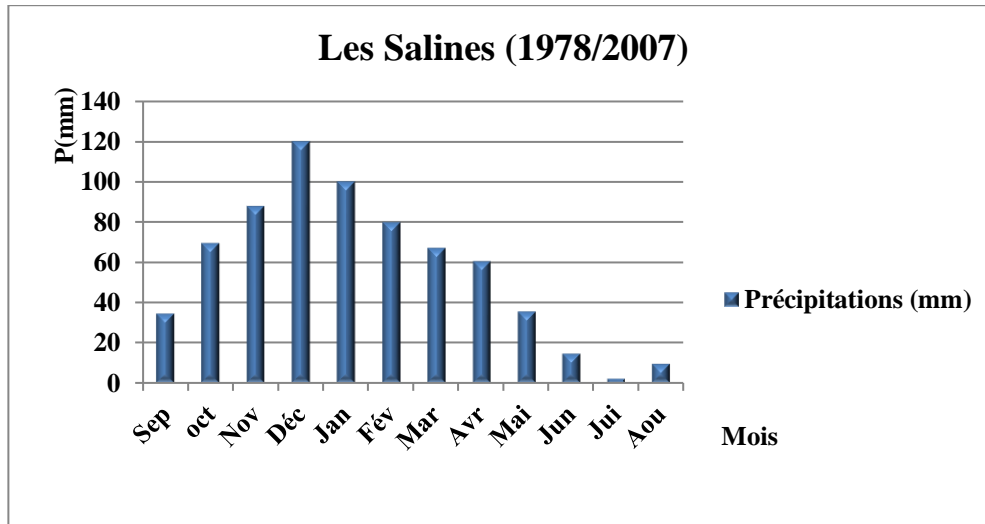
**Tableau 05 :** Précipitations moyennes mensuelles en (mm) des trois stations : Les Salines, Pont Bouchet et Berrahal (1978-2007).

	Sep	Oct	Nov.	Dec	Janv	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Hau. Ann
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

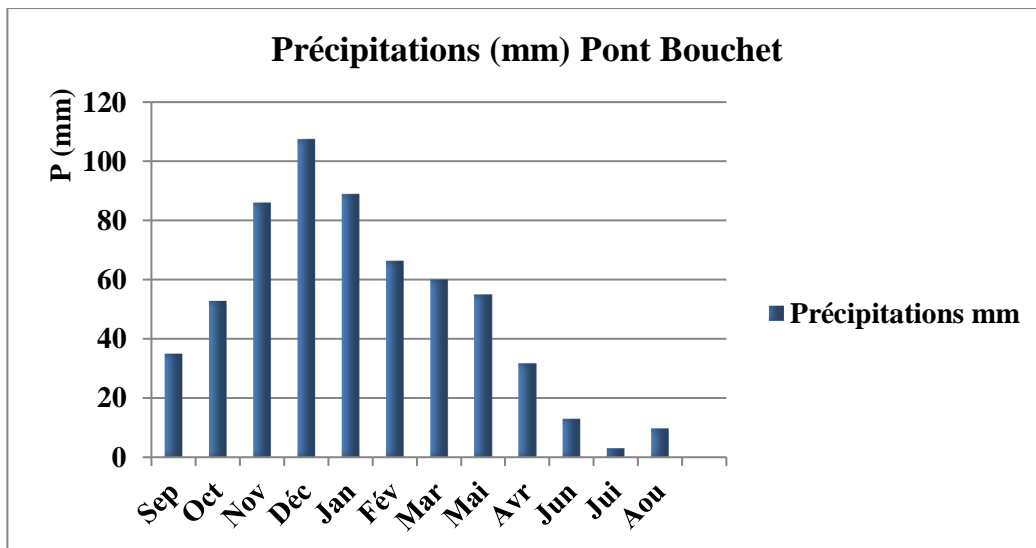
L'interprétation des histogrammes réalisés à partir des données pluviométriques fait ressortir les remarques suivantes :

- 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).

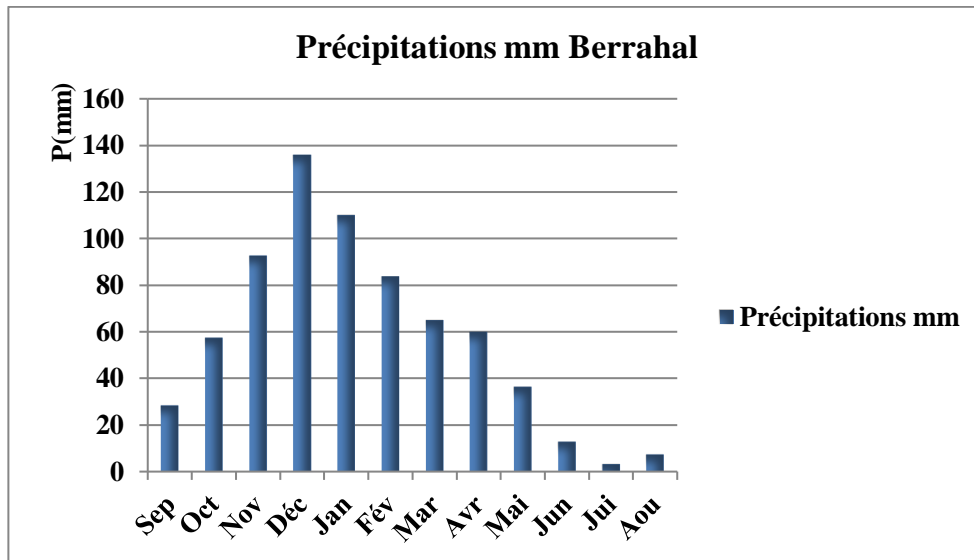


**Figure.11** : Histogramme des précipitations moyennes mensuelles de la station des Salines (1978-2007).



**Figure.12** : Histogramme des précipitations moyennes mensuelles de la station de Pont Bouchet (1978-2007).





**Figure.13 :** Histogramme des précipitations moyennes mensuelles de la station de Berrahal (1978-2007).

### 3.1. 2.Coefficient pluviométrique:

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 (tableau. 06) :

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

Tel que :

CP : Coefficient pluviométrique.

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

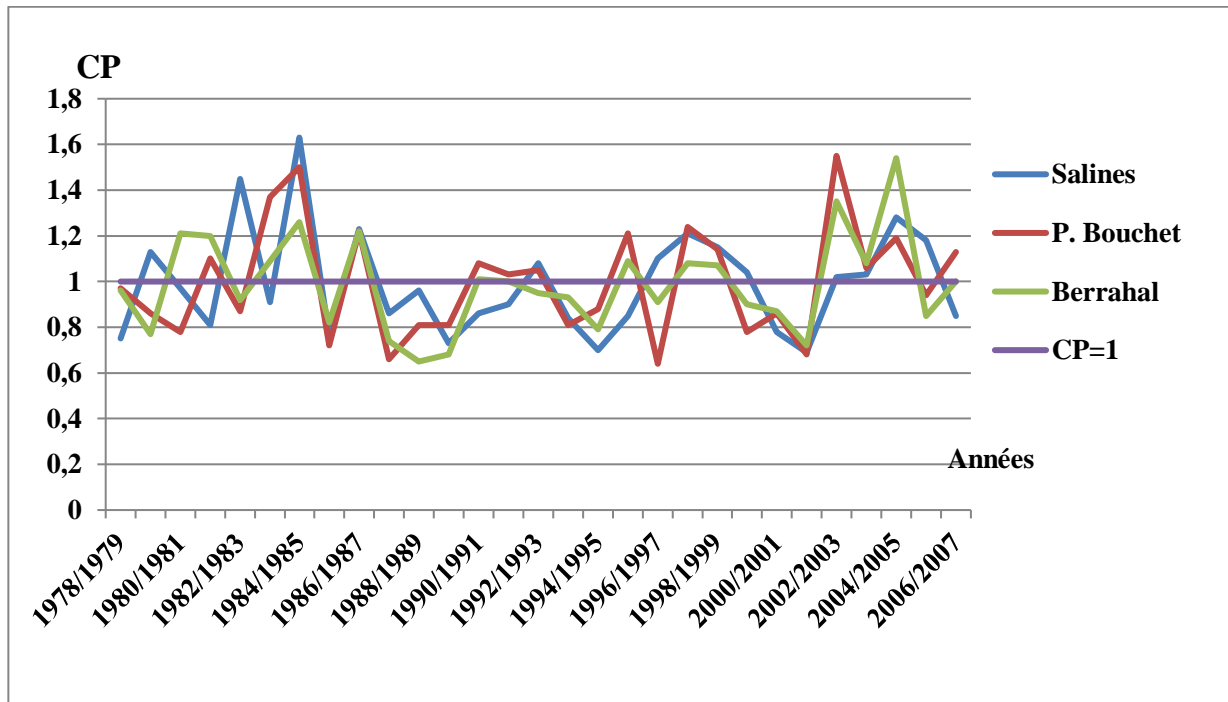
$P_{moy}$  : Pluviométrie moyenne annuelle en (mm).

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

CP Année	Station des Salines		Station de Pont 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 (figure. 14).



**Figure.14 :** Diagramme du coefficient pluviométrique dans les trois stations de mesure (1978-2007).

### 3.2. Température :

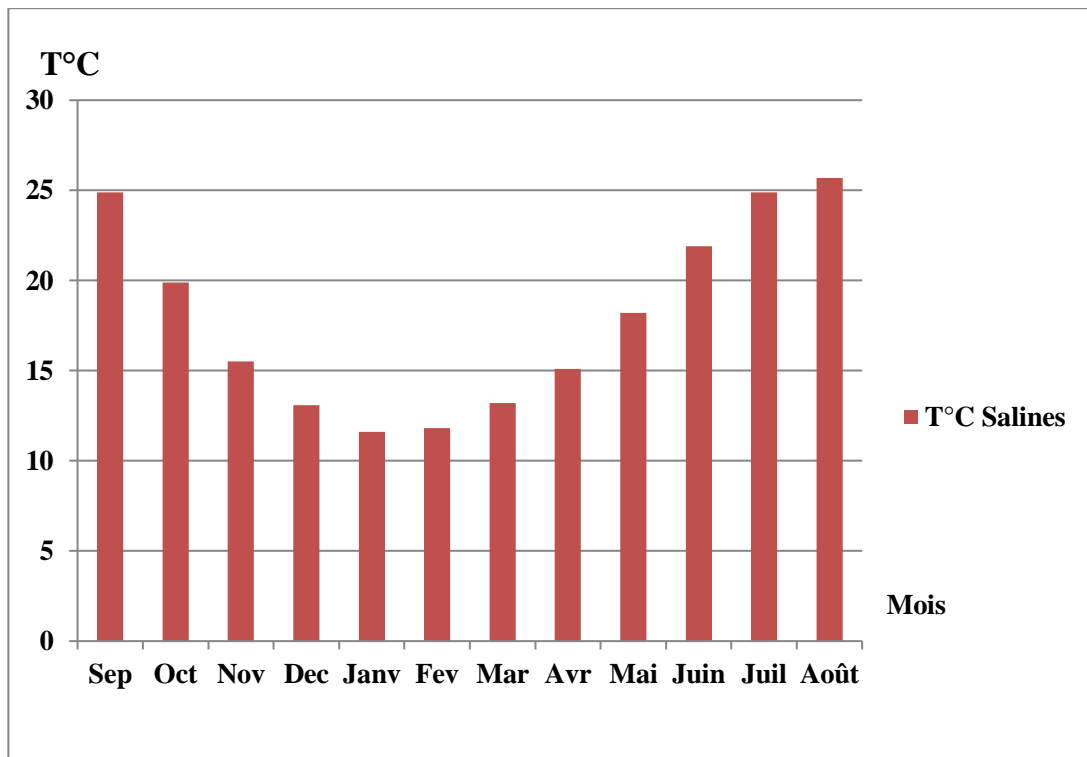
La température est le deuxième facteur important dans l’étude climatique, car elle agit directement sur le phénomène d’évapotranspiration et par conséquent le déficit d’écoulement annuel et saisonnier.

Les températures utilisées se rapportent à la station des Salines enregistrées pendant 29 années d’observation (tableau. 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

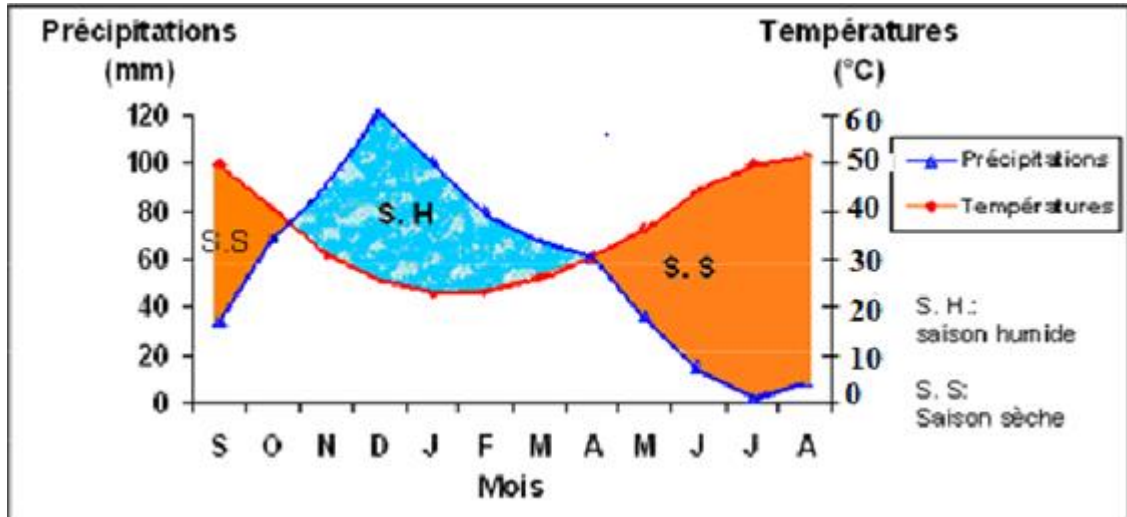
L’histogramme des températures moyennes mensuelles montre que les plus faibles valeurs sont mesurées aux mois de Décembre, Janvier, Février et Mars ; tandis que les plus fortes caractérisent les mois de Juin, Juillet et Août (figure. 15).



**Figure.15 :**Températures moyennes mensuelles de la station des Salines durant la période (1978-2007).

**3-2-1. Diagramme ombrothermique (pluviothermique) :**

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 (figure.16).



**Figure.16 :** 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.

**3.4. Le vent :**

La plaine d'Annaba est dominée par des vents Nord à Nord-est, Sud-ouest à Nord. Les vents les plus violents se manifestent en hiver et les plus faibles en été avec quelques épisodes de SIROCCO qui augmentent la température. La plus forte valeur (4.35 m/s) est mesurée au mois de Décembre (tableau.08)

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

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mar	Avar	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

### 3.5. 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 (tableau. 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).

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 (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).

Facteurs Station	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 TixerontBerkaloff modifiée par Romantchouk (P > 600mm pour les stations étudiées) (tableau. 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).

Paramètres Stations	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 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 (tableau.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 d'Annaba	Sols argilo-limoneux : C-f=15% 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 (tableau. 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 (figure. 17, 18, et 19).

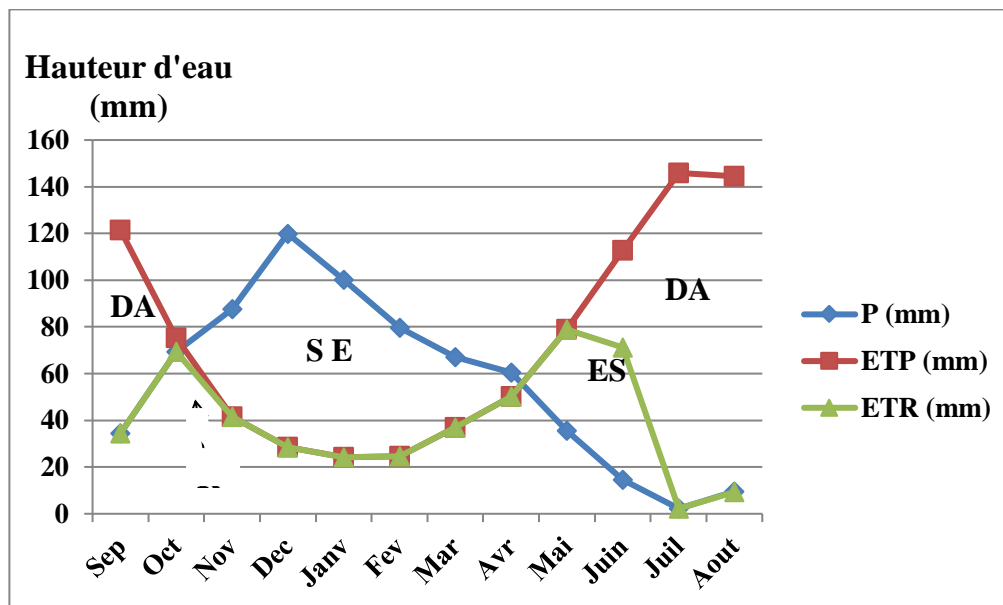


Figure.17 : Représentation graphique du bilan de Thornthwaite : Station des Salines (1978-2007).

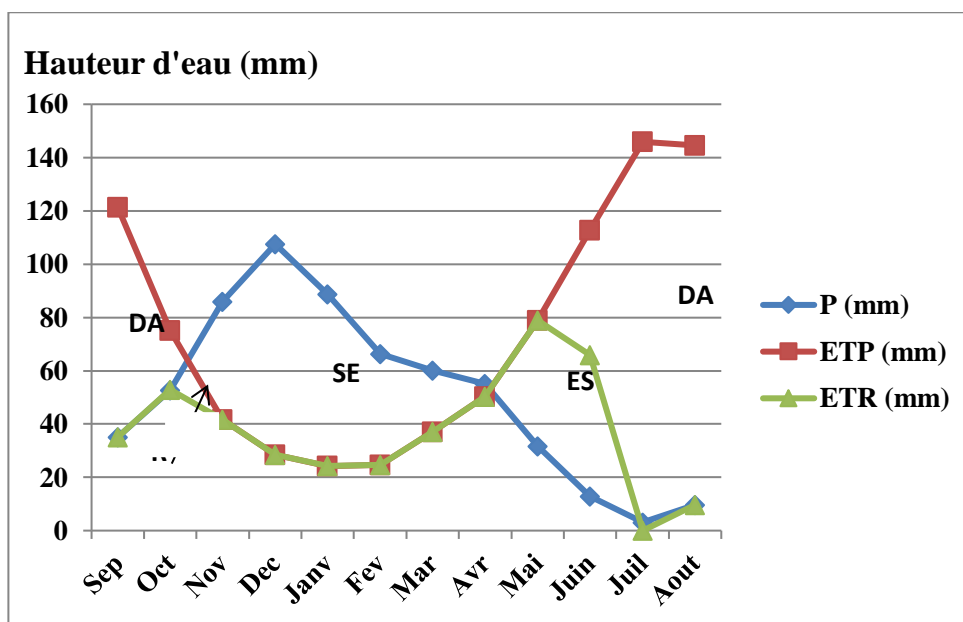
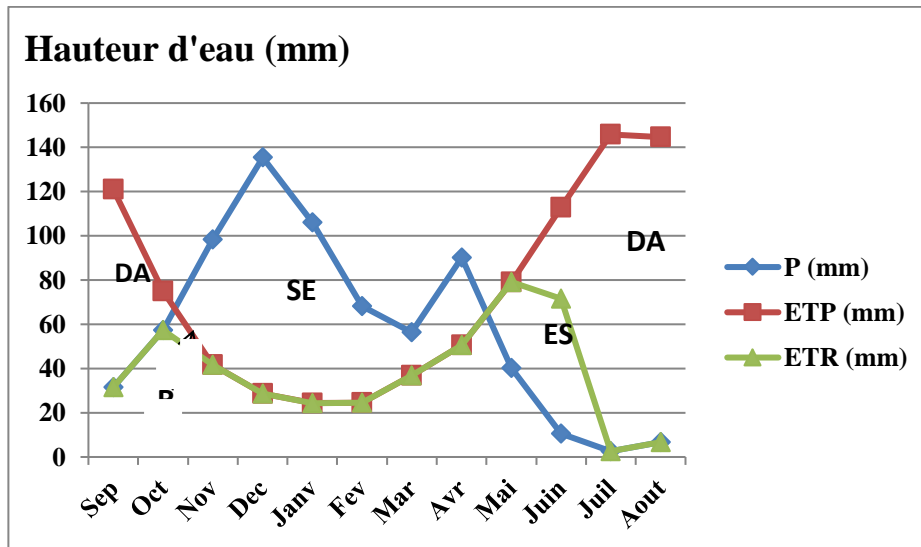


Figure.18 : Représentation graphique du bilan de Thornthwaite : Station de Pont Bouchet (1978-2007).



**Légende :**

**SE :** Sur plus d'eau.

**ES :** Epuisement du stock.

**DA :** Déficit agricole. **R :** Recharge du sol.

**Figure.19 :** 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 (figure. 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 saisonstypiquesdu 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 mois 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).



## 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 forte activité anthropique où on distingue une importante concentration urbaine et industrielle : El Hadjar, Berrahal, BerkaZerga et Kherraza.

## 2. Description des différents aquifères:

### 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 Meboudja, 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 % (Saaïdia, 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 Bélliélita ; leur profondeur n'atteint jamais plus de 20 mètres, elle est en moyennede 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 lanappe phréatique

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

Elle est située entre Annaba et la Mafragh. C'est une nappe limitée sur une bandelittorale de 0.5 à 2 km de largeur, constituée de sables fins à moyens et alimentée directementpar les eaux de pluie. Elle joue le rôle d'une barrière qui protège la nappe phréatique de laplaine d'Annaba de l'invasion des eaux salées marines (GAUD, 1976). La porosité efficaceest de l'ordre de 10 % (Khérici,1993) et la perméabilité vaut  $10^{-4}$  à  $10^{-2}$  m/s tandis que latransmissivité 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 d'Annaba, entre Ain Berda 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 bétailparticulièrement 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> etcontenue 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). Sonépaisseur 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 :

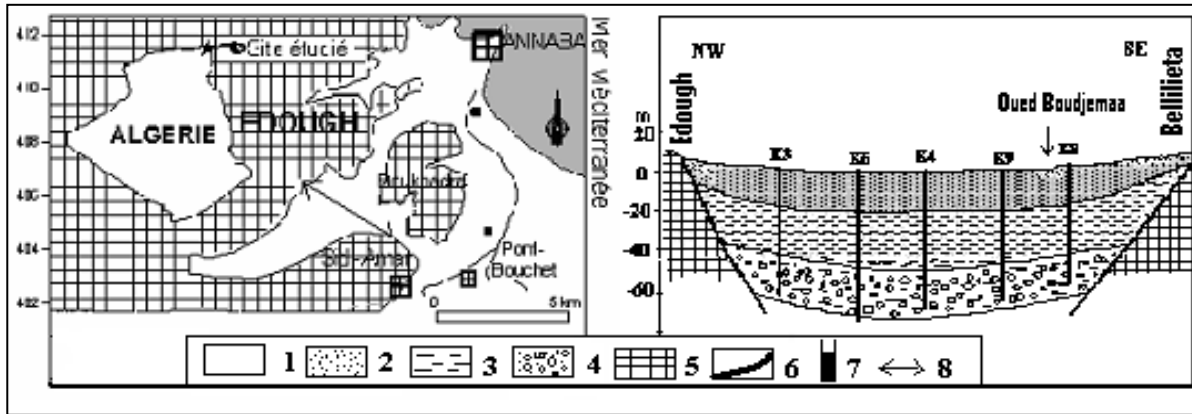
Elle est localisée au Nord-Ouest en bordure des massifs métamorphiques de Bouhamra et de Béllielita et contenue dans les cipolins fissurés. Sa profondeur varie de 12 à 80 mètres. Les forages ayant atteint cette nappe donnent des débits d'exploitation d'ordre de 15 l/s avec une transmissivité comprise entre  $5 \cdot 10^{-5}$  et  $10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s (Derraji Elfadel 2004) (tableau.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 exceptée 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  $3,5 \cdot 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s et le coefficient d'emménagement (S) est parfois très faible de l'ordre de  $10^{-4}$  où la nappe est captive et atteint  $10^{-2}$  dans les zones où elle est libre (tableau. 18).

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

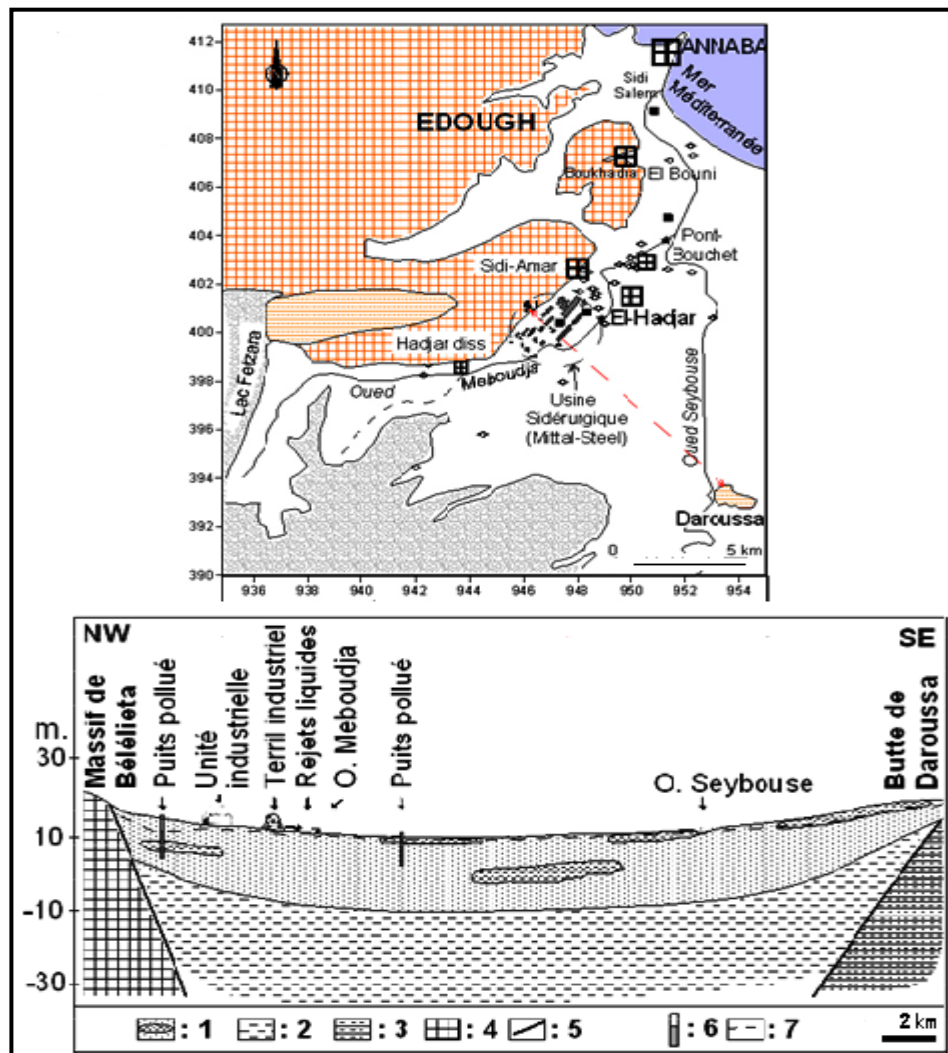
Aquifères	Transmissivité (m <sup>2</sup> /s)	Perméabilité (m/s)	Coefficient d'emménagement
Nappe des sables et Graviers	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup> à 10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-2</sup>
Nappe des cipolins	5.10 <sup>-3</sup> à 5.10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-4</sup> à 10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-4</sup>



**Légende :**

1 : Quaternaire indifférencié, 2 : Alluvions anciennes, 3 : argiles, 4 : Conglomérats et graviers, 5 : Formations métamorphiques, 6 : Faille, 7 : Forage, 8 : Coupe.

**Figure.20 :** Situation, esquisse et coupe hydrogéologique de la plaine de Kherraza.



**Légende :** 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.

**Figure.21 :** Situation, esquisse et coupe hydrogéologique de la basse Seybouse – Meboudja (kherici 1993).

### 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.

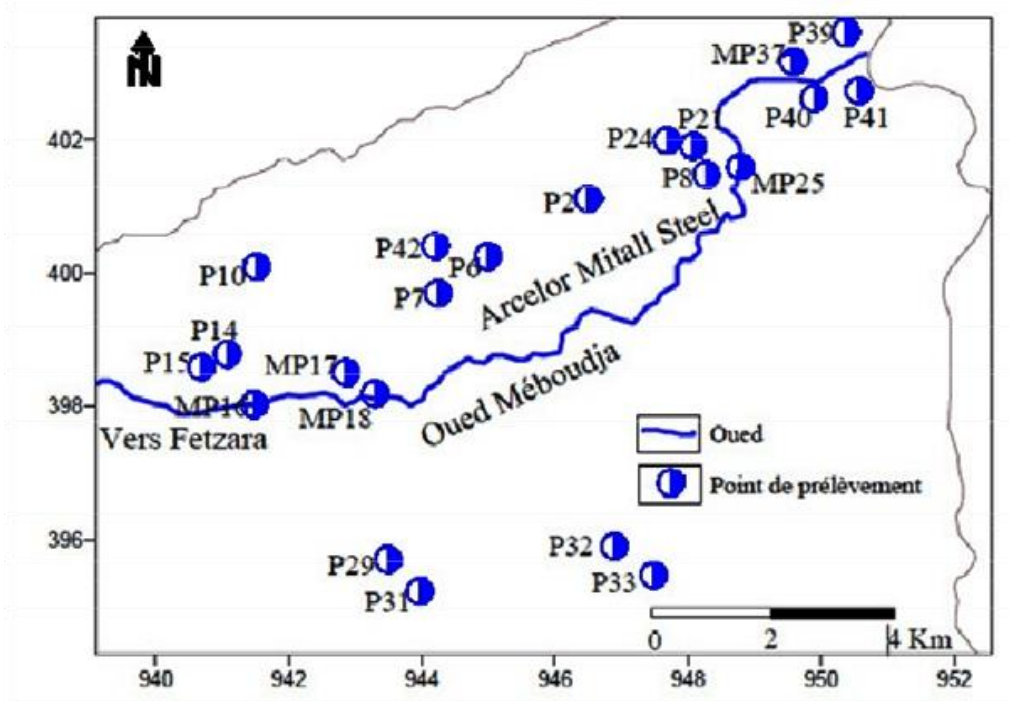
La carte piézométrique permet de déterminer, les sens et la vitesse d'écoulement, le gradient hydraulique, les conditions aux limites d'une nappe ; ainsi que les zones d'alimentation et d'accumulation des eaux souterraines.

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. Quatre zones sont prises en considération :

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

#### 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 (Figure. 22). 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.

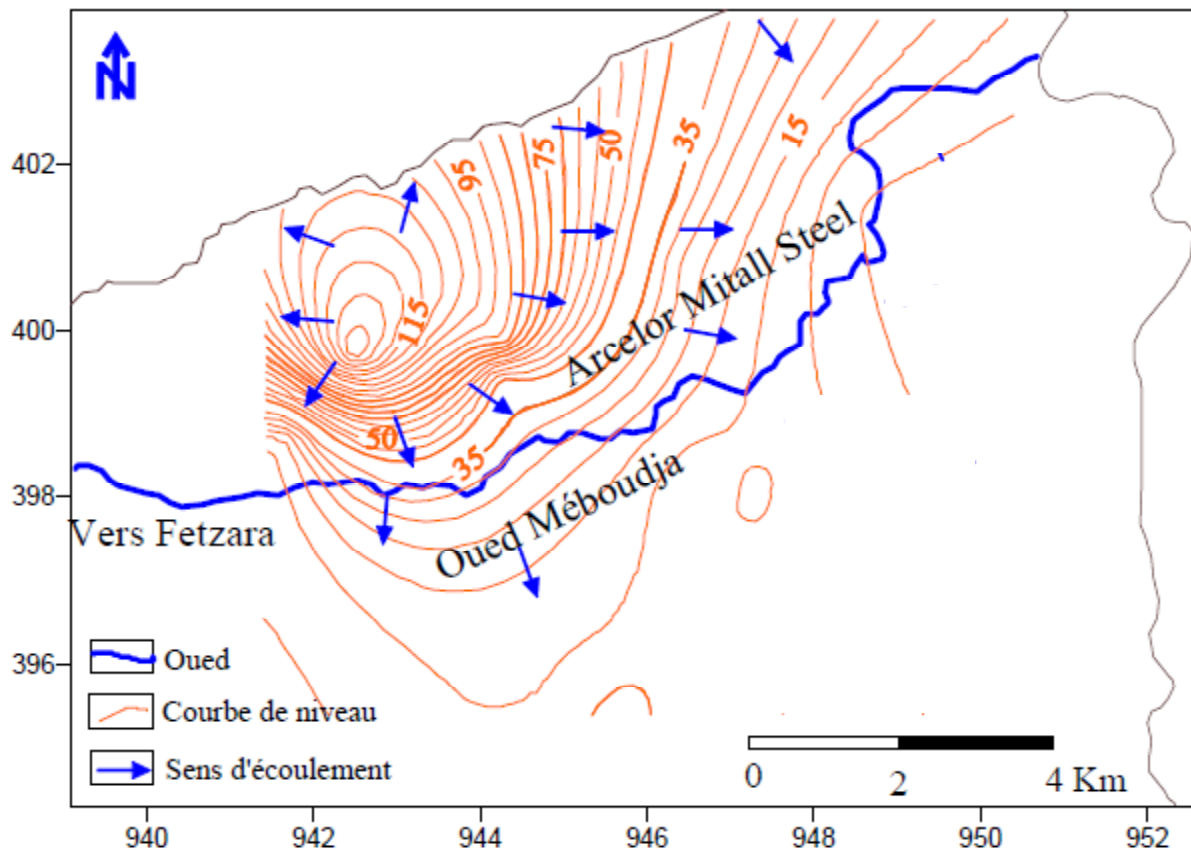


**Figure.22 :** Carte d’inventaire des points d’eau dans le bassin de l’oued Méboudja au niveau d’Arcelor Mittal Steel Avril, 2008.

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 (Figure. 23).

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 avale 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  $8 \cdot 10^{-4}$ .

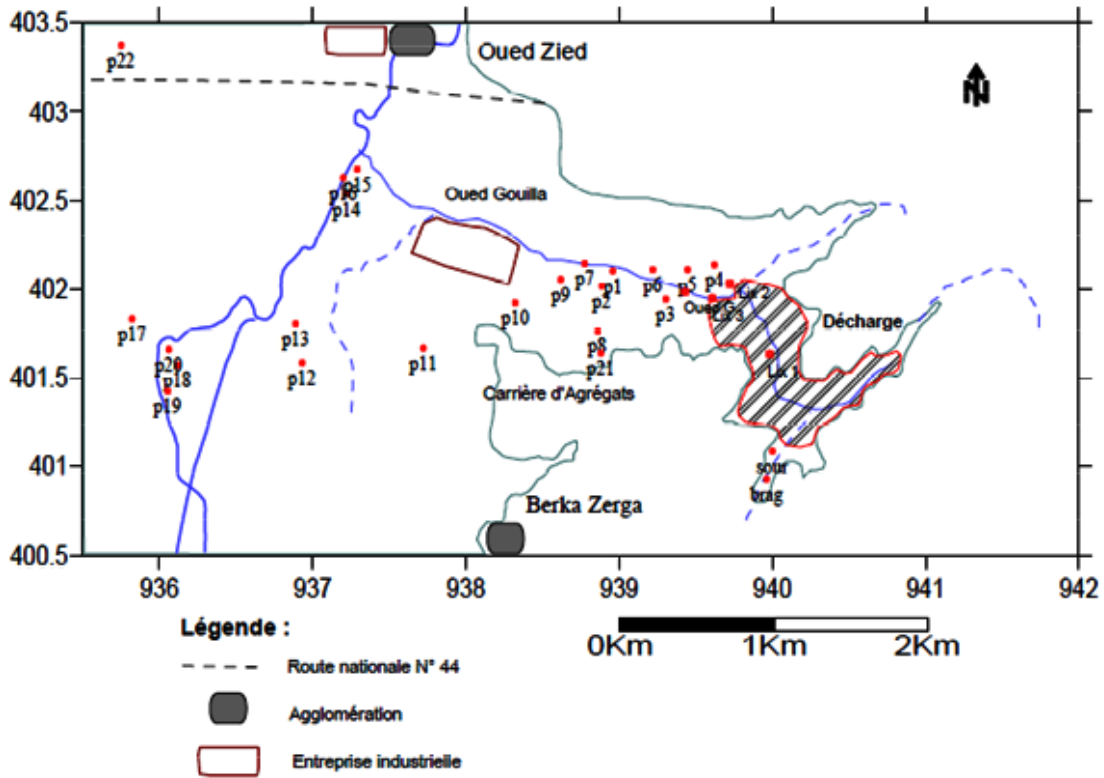


**Figure.23 :** Carte piézométrique dans le bassin de l'oued Méboudja (Avril, 2008 )

(In Lekoui S. 2011).

### 3.2. La plaine de l'oued Zied - décharge de BerkaZerga :

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 (Figure. 24).



**Figure.24 :** Carte d’inventaire des points d’eaux dans la plaine de L’Oued Zied (Mars, 2011) (IN Lekoui.S)

L’analyse de la carte piézométrique montre que l’allure générale des courbes isopièzes suit le modèle topographique (Figure. 25). 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 la zone d'alimentation présentée sous forme des courbes fermée et localisé au niveau du socle métamorphique de belilta.



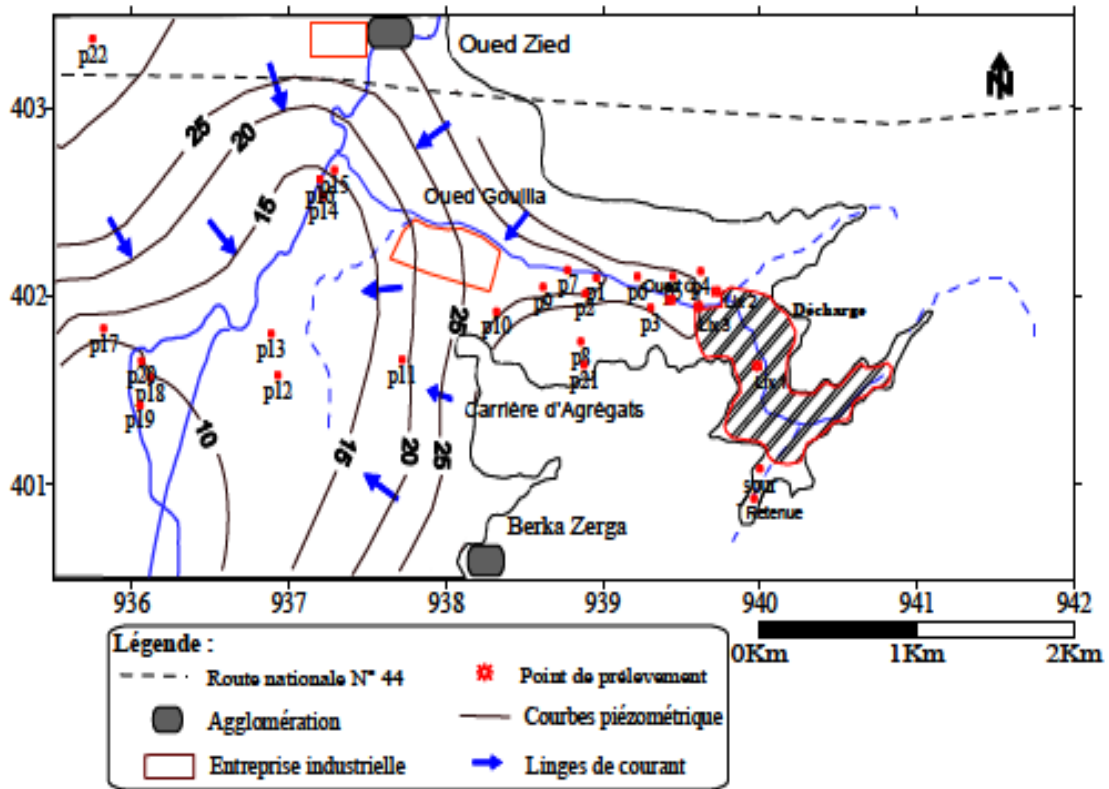


Figure.25 : Carte piézométrique de la plaine de L'oued Zied, (Mars, 2011).

#### 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'emmagasinement 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  $5 \cdot 10^{-5}$  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.

## 1. Introduction :

Des cas de pollution ont été détectés au niveau des eaux de surface et souterraines de la plaine de Annaba par  $\text{Fe}(\text{T})$ ,  $\text{Mn}_2^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{PO}_4^-$ ,  $\text{Cr}(\text{t})$ ,  $\text{Pb}$ ,  $\text{Sn}_4^+$  et  $\text{NO}_3^-$  (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-Mittalsteel.

## 2. Plaine de l'oued Meboudja :

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

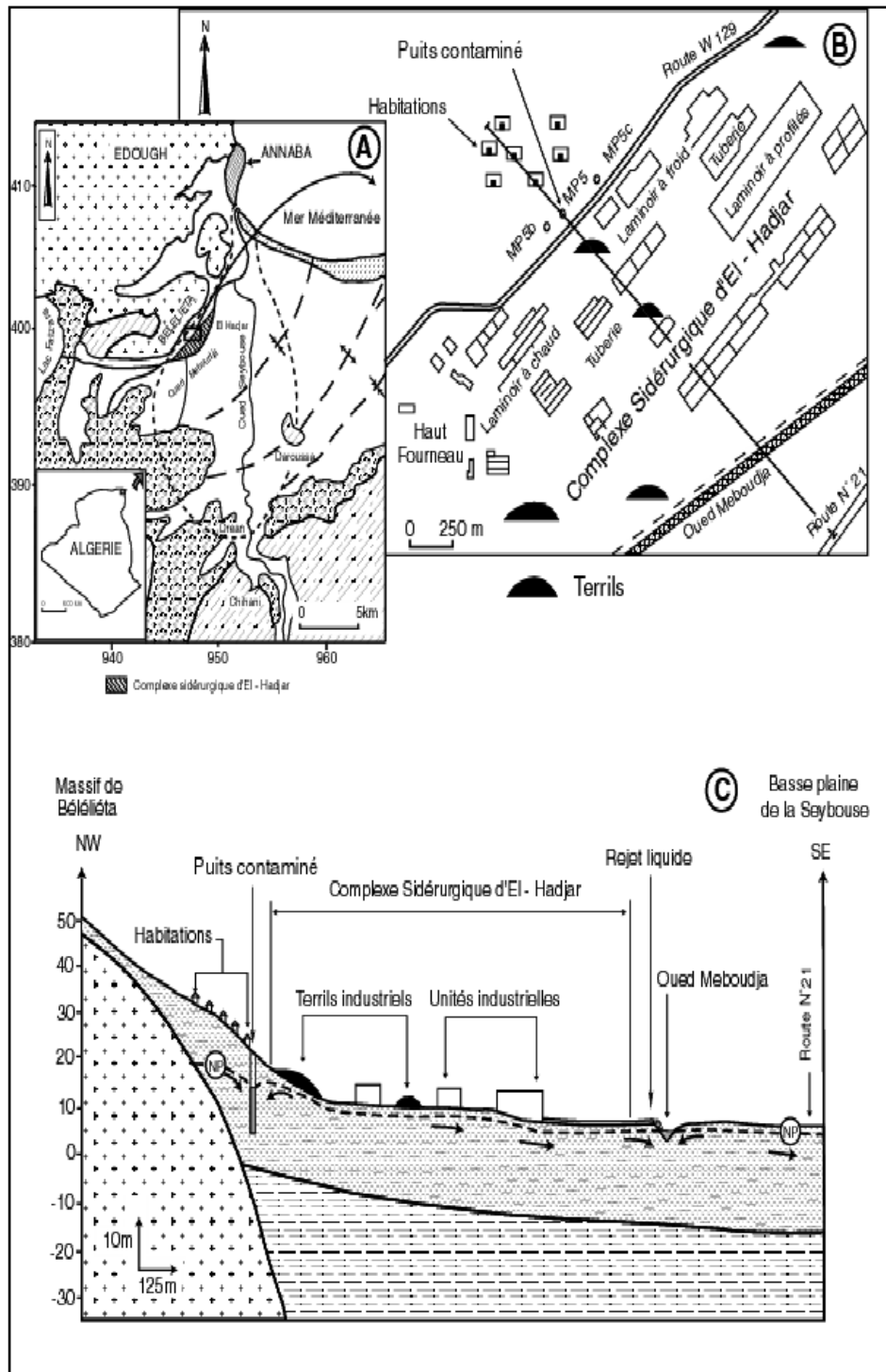
- Les eaux usées d'origine industrielle chargées en polluants provenant du complexe Arcelor Mittal Steel.
- Les rejets des usines des zones industrielles de Chaiba et Pont-Bouchet
- Les rejets des eaux usées domestiques (habitations, commerce).
- Activités agricoles : L'agriculture et l'élevage sont 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 d'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 (Figure.26)



**Figure.26 :** 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 suivants :

- 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 (tableau. 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>

**Tableau.19** : Types et quantité de rejets provenant de l'unité Arcelor Mittall Steel (Agence des bassins hydrographique).

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 eau d'irrigation
Aciérie électrique (ACE)	Poussières	7600 tonnes /an	Atmosphère	L'atmosphère Terrain agricole
Aciérie à oxygène N°1 (ACO <sub>2</sub> )	Mas à l'Oued poussières	1070 tonnes 190tonnes /an	Oued Meboudja	Sol d'agriculture 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 eaux d'irrigation
Hauts fourneaux HFX	MES Poussières	4900tonnes /an 8425 tonnes /an	Atmosphère	L'Atmosphère Terrains agricoles
Préparation matières (PMA)	Poussières Nox CO	15120tonnes/an 846 tonnes /an 308950 t/an	Atmosphère	L'Atmosphère Terrains agricoles
Cokerie	Poussières SO <sub>2</sub> NH <sub>3</sub> MO CN Phénol	5644 tonnes /an 2260 tonnes/an 3093 tonnes/an 1220tonnes/an 94 tonnes/an 660 tonnes/an	Atmosphère Atmosphère Atmosphère Atmosphère O. Meboudja O. Meboudja	L'Atmosphère Terrains agricoles 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 (tableau. 20).

**Tableau 20 :** Inventaire des usines existant dans 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. (PRIVE) à l'arrêt	Transformation de matière plastique (KHELIFA)	Non calculé	Eaux usées	Réseaux assai
ZI Pt Bouchet	SARL RHUMELGUM (PRIVE)	Fabrication de Chewing-gum	1	Eaux usées	O. Meboudja
ZI Pt Bouchet	SARL EST (PRIVE)	Transport Est	Non calculé	Eaux usées+ huiles	Fosse
ZI Pt Bouchet	SOFARM (PRIVE)	Fabrication articles médicaux			
ZI Pt Bouchet	ETS BAIBA	Modelage mécanique		Non enquêtée	
ZI Pt Bouchet	TARSI	Montage de la charpente, chaudronnerie et équipement mécanique		Non enquêtée	
Sidi Amar	Mittal Steel ex (EN Sider)	Sidérurgie			
ZI Meboudja	S.N.C. C.E.C.C.O.(PRIVE)	Transformation de papier			
Route de Chaiba	PROCIM ex (Prosider)	Construction métallique 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 Meboudja et autour des installations industrielles (figure.27) :

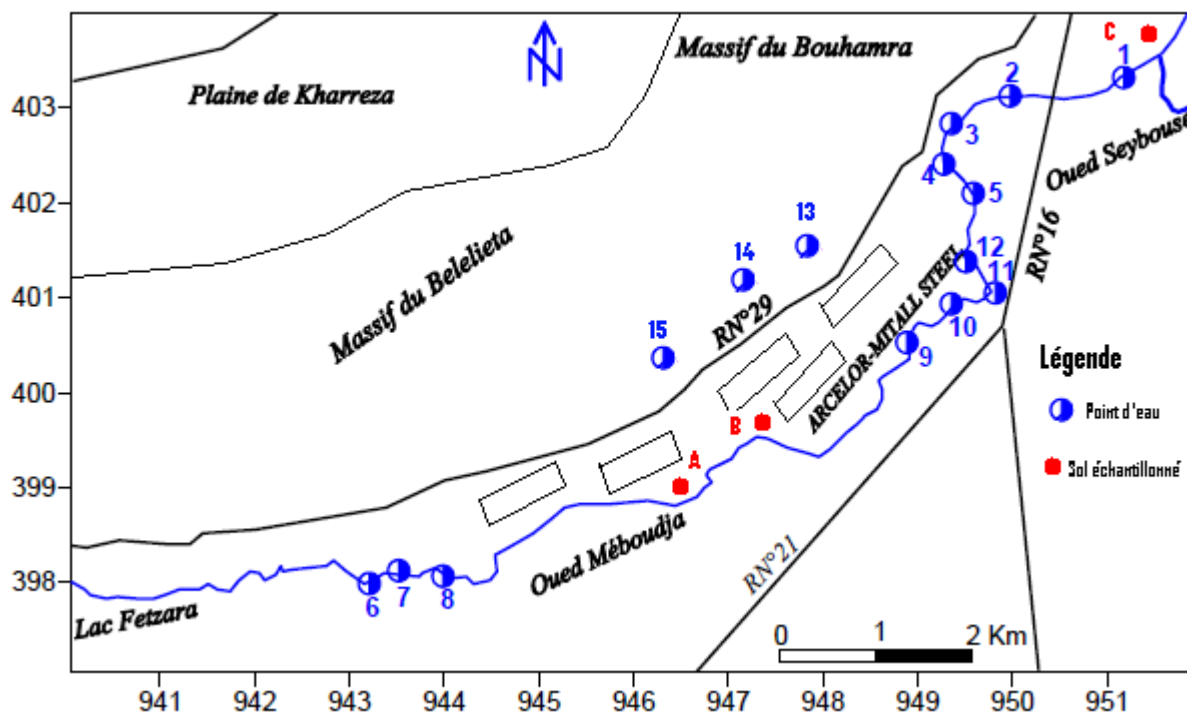
- Trois (03) échantillons en amont, dans la région de DerradjiRdjem : n° 6, 7 et 8.
- Quatre (04) échantillons à la sortie de l'usine sidérurgique « ARCELOR MITALL STEEL » (n° 11 et 12) et la ville d'El-Hadjar (n° 9 et 10).
- Cinq (05) échantillons (1, 2, 3, 4 et 5) à l'aval au niveau des deux zones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



Meboudja et Pont Bouchet.

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

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.



**Figure.27 :** Carte d’inventaire des points de prélèvement, plaine Meboudja. (Djorfi saadan.Hani, A. Djabri, L. Lamouroux, C ; 2007.)

### 2.3.2. Pollution des sols :

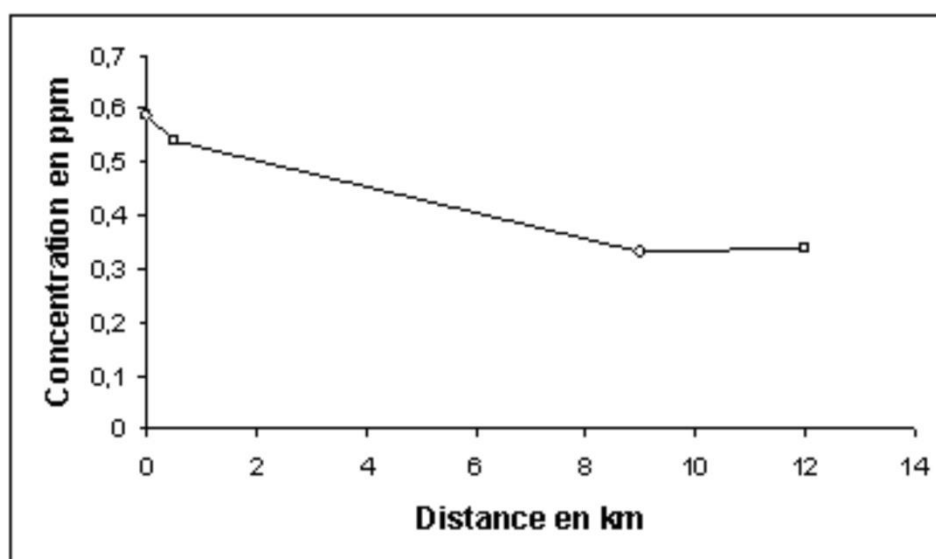
Pour estimer la concentration d'exposition dans le cadre de l'évaluation détaillée des risques sur la santé humaine, un nombre d'analyses chimiques du sol a été entrepris. Les prélèvements du sol ont été effectués sur plusieurs points de la plaine d'Annaba en tenant compte de la localisation par rapport 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 trois 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 figure. 28).

**Tableau.21 :** Concentration du Chrome dans le sol (ppm) ; (Djorfi, Saadan 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.28 :** 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 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, Fe, Pb, Cu et le Ni), par un spectrophotomètre à absorption atomique avec flamme.

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

Variabes	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
Eh(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	(T)(Cr)	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	(T)(Fe)	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
HCO <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 (tableau. 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/ Substance	Symbole/ 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		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/ substance	Valeurs limites / typed'activité			
	Corps gras	Industrie de l'énergie	Industrie mécanique/ transformation des métaux	Rejets
Température		30	3	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		
Pb		0.5 mg/l	0.7mg/l	1mg/l
Cu			0.7/1.5 mg/l	3mg/l
Ni			2	5mg/l
Fe			5	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 (Figure. 29)

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

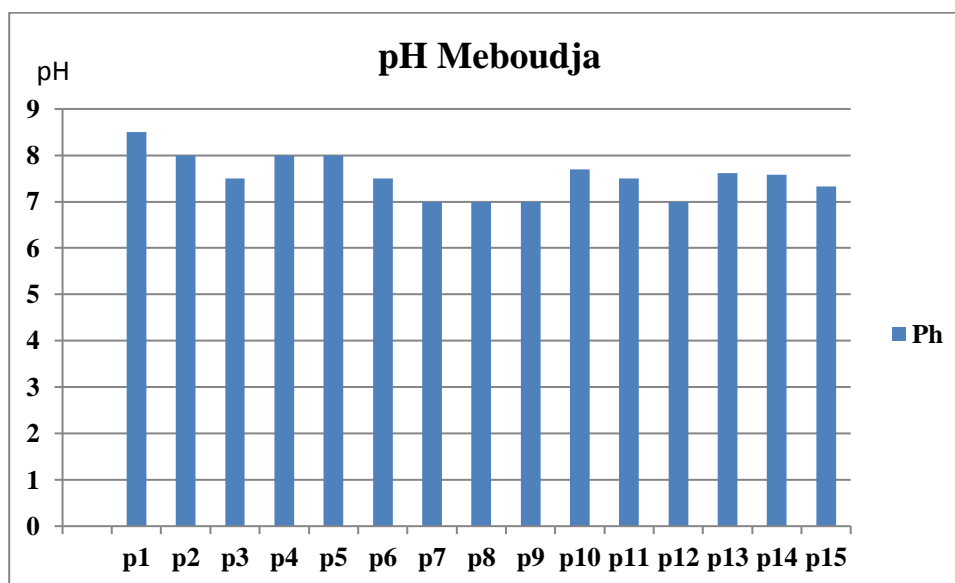


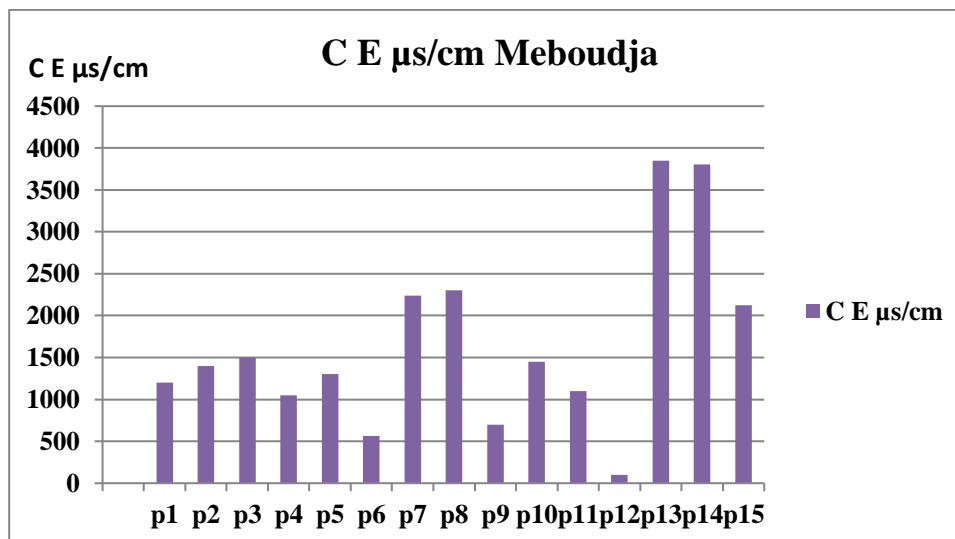
Figure.29 : Evolution spatiale du pH des eaux de la plaine de la Meboudja

### 2.4.3. La conductivité électrique (CE) :

La conductivité électrique (Figure. 30) 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  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).



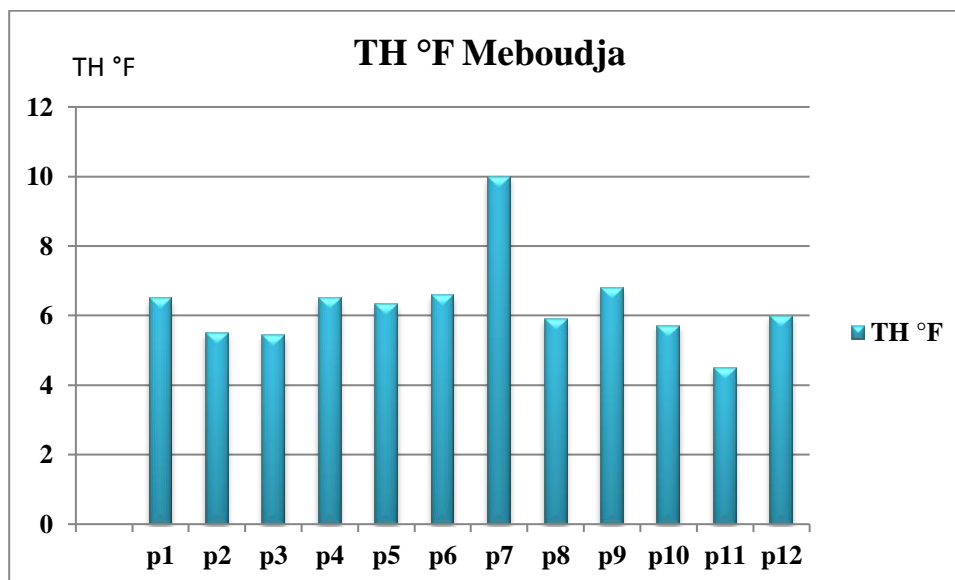
**Figure.30 :** Evolution spatiale de la conductivité électrique des eaux plaine de la Meboudja.

#### 2.4.4. 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 500mg/l. La valeur de 100mg/l est couramment atteinte. Avec l'intervention d'autres facteurs (pH, alcalinité), une dureté de plus de 200mg/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 75mg/l de CaCO<sub>3</sub> ou à 30mg/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 (figure.31).



**Figure.31** : Variation spatiale du TH des eaux de la plaine de la Meboudja.

#### 2.4.5. 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 DBO varient selon les types d'eaux :

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

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

Dans notre cas (figure.32), les fortes teneurs de la DBO<sub>5</sub> 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.

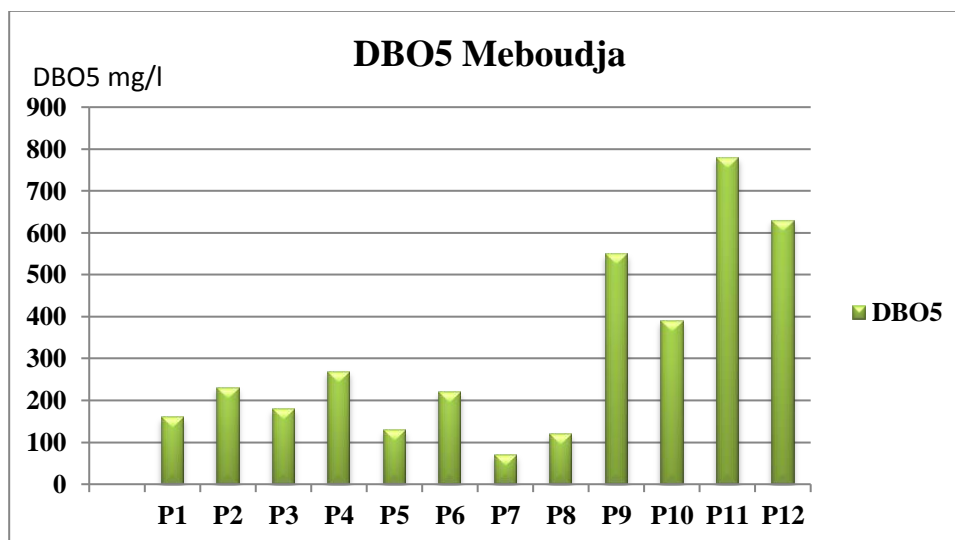


Figure.32 : Evolution spatiale de la DBO<sub>5</sub> des eaux de la plaine de la Meboudja.

#### 2.4.6. 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 (Figure.33) 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 Meboudja ; 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.



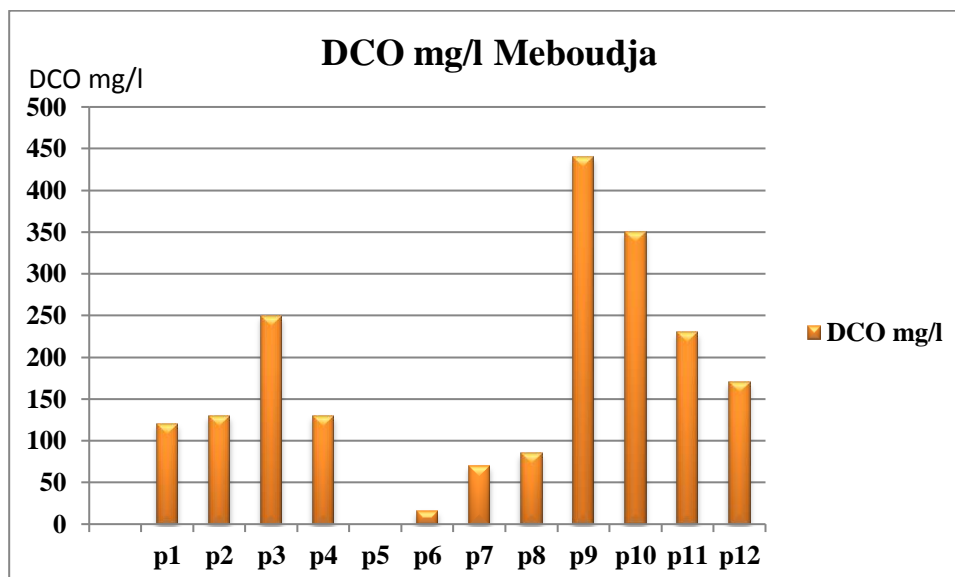


Figure.33 : histogramme de la DCO des eaux de la Meboudja.

#### 2.4.7. 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.

##### 2.4.7.1. 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 (Figure. 34) que tous les points de prélèvement ont des teneurs en Chrome supérieures à la norme ; 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.

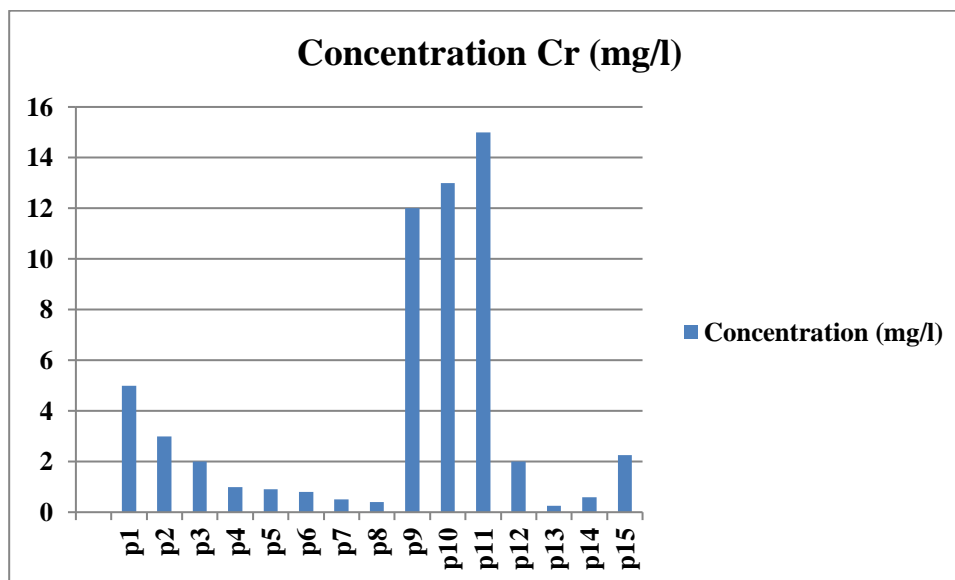


Figure.34 : Evolution du Cr des eaux de la plaine de la Meboudja.

#### 2.4.7.2. 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 (PbSO<sub>4</sub>(s)) et de cérusite (PbCO<sub>3</sub>(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 (Figure.35), 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.

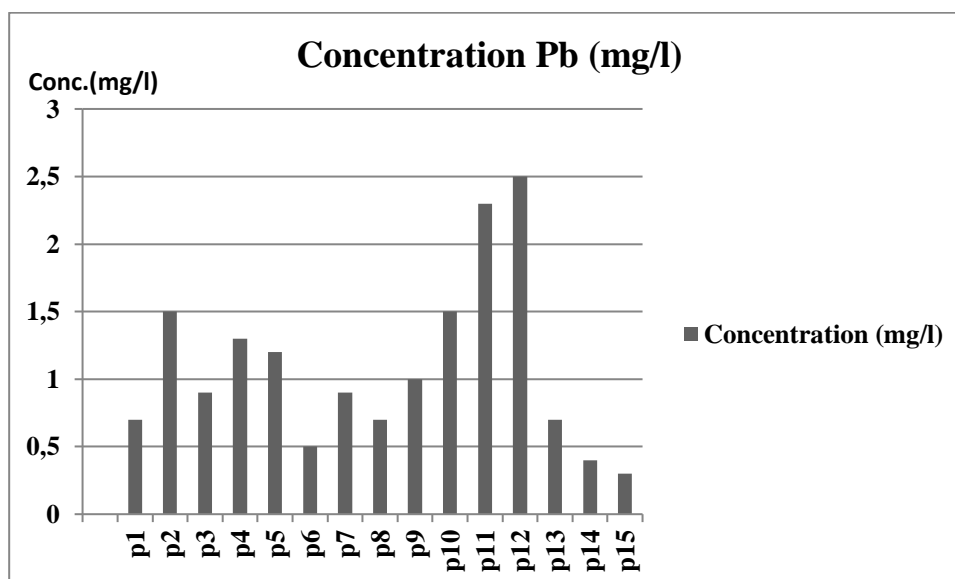


Figure.35 : Evolution spatiale du Pb des eaux de la plaine de la Meboudja.

### 2.4.7.3. 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 (Figure.36).

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 Meboudja (la poussière des ateliers du SIDER).

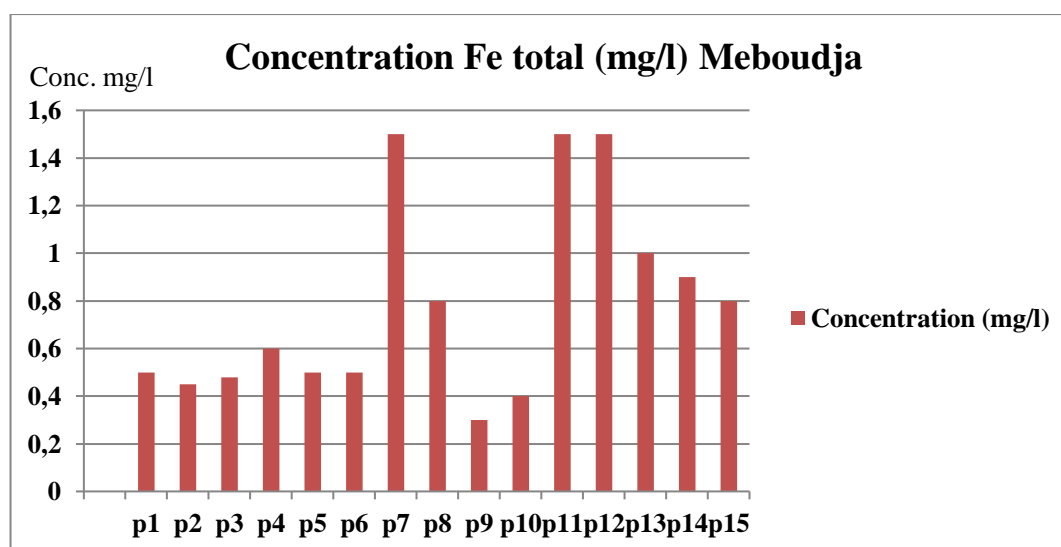


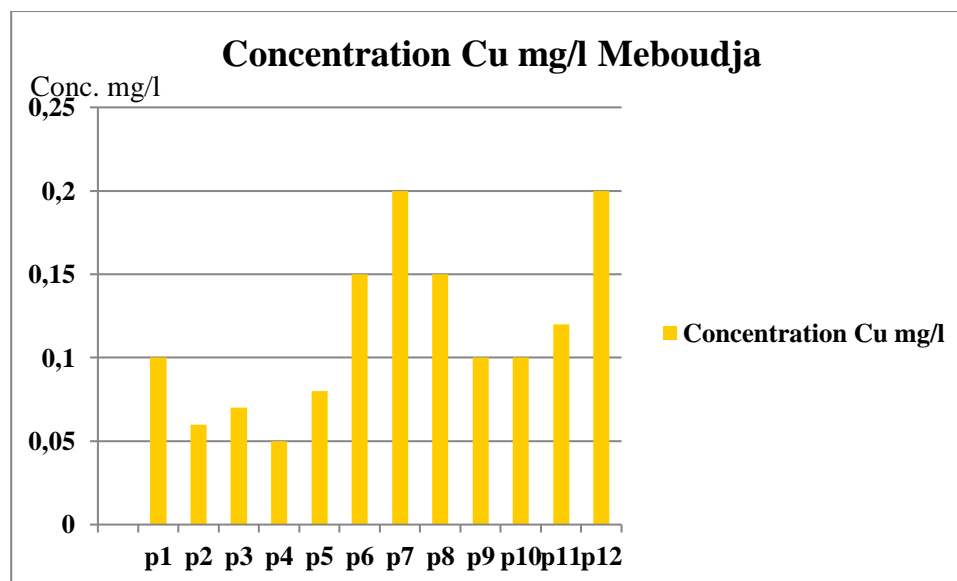
Figure.36 : Evolution du Fer Total des eaux de la plaine de la Meboudja.

#### 2.4.7.4. 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 (Figure.37), 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.



**Figure.37** : Evolution spatiale du Cu des eaux de la plaine de la Meboudja.

#### 2.4.7.5. Le Nickel (Ni) :

La norme exigée pour les eaux potables est de 0.02mg/ la lorsque 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 100mg/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 vae site ( $NiS_2$ ) ou de mille rites ( $NiS$ ).

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 (Figure.38) 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.

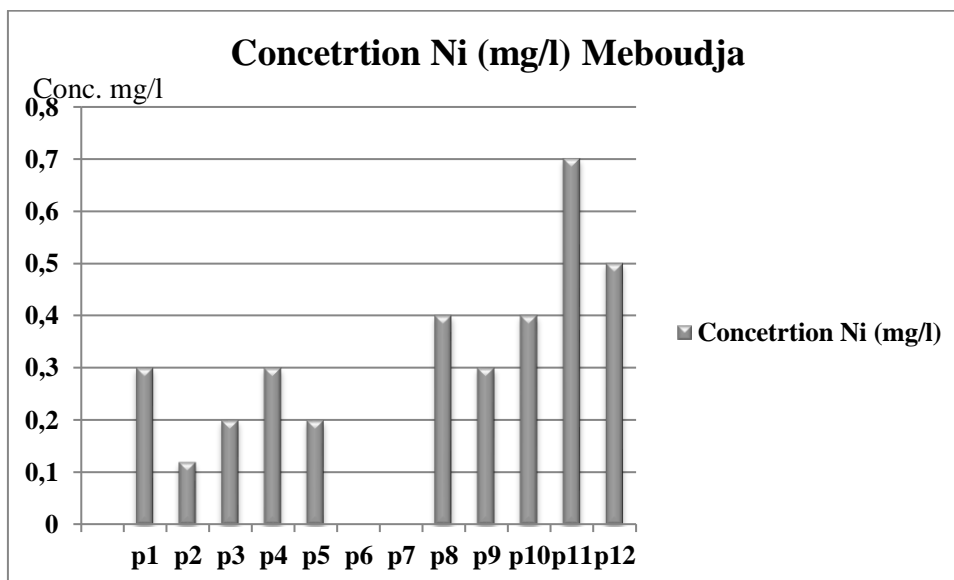


Figure.38 : Evolution spatiale du Ni des eaux de la plaine de la Meboudja.

### 3. Conclusion :

Les eaux de la région étudiée sont soumises à une intense pollution due à plusieurs sources. L'étude hydro chimique 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 zone d'étude 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 Meboudja 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

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 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.

## **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 Meboudja, 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, et 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 des périodes différentes, 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 minerai 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 hexa valent). Le Chrome métal et le chrome trivalent ne sont pas toxiques. Le Chrome hexa valent 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 :**

Quel que soit la forme dont le Plomb est introduit dans le corps, il est restreint 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 aigüe 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  $10^{-4}$ , 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 Meboudja, 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 (tableau.25).

**Tableau.25 :** Indice du risque total pour l'usage des eaux de surface (plaine Meboudja).

Point d'eau	Indice du Risque							
	Cr		Pb		Cu		Ni	
	Enfant	Adulte	Enfant	Adulte	Enfant	Adulte	Enfant	Adulte
P6	1.5*10 <sup>+2</sup>	7.2*10 <sup>+1</sup>	7.1	3.4	/	/	/	/
P7	1.5*10 <sup>+2</sup>	7.3*10 <sup>+1</sup>	6.5	3.1	2.5*10 <sup>-1</sup>	1.2*10 <sup>-1</sup>	/	/
P8	1.5*10 <sup>+2</sup>	7.2*10 <sup>+1</sup>	9.5	4.5	/	/	4.9*10 <sup>-1</sup>	2.3*10 <sup>-1</sup>
P9	1.5*10 <sup>+2</sup>	7.2*10 <sup>+1</sup>	1.1*10 <sup>+1</sup>	5.1	/	/	6.3*10 <sup>-1</sup>	3*10 <sup>-1</sup>
P10	1.5*10 <sup>+2</sup>	7.2*10 <sup>+1</sup>	1.4*10 <sup>+1</sup>	6.8	/	/	5.7*10 <sup>-1</sup>	2.7*10 <sup>-1</sup>
P11	1.5*10 <sup>+2</sup>	7.3*10 <sup>+1</sup>	1.8*10 <sup>+1</sup>	8.7	/	/	1.1	5.3*10 <sup>-1</sup>
P12	1.5*10 <sup>+2</sup>	7.2*10 <sup>+1</sup>	1.9*10 <sup>+1</sup>	9.1	/	/	5.7*10 <sup>-1</sup>	2.7*10 <sup>-1</sup>

La figure (Figure.39) 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 (figure.40).



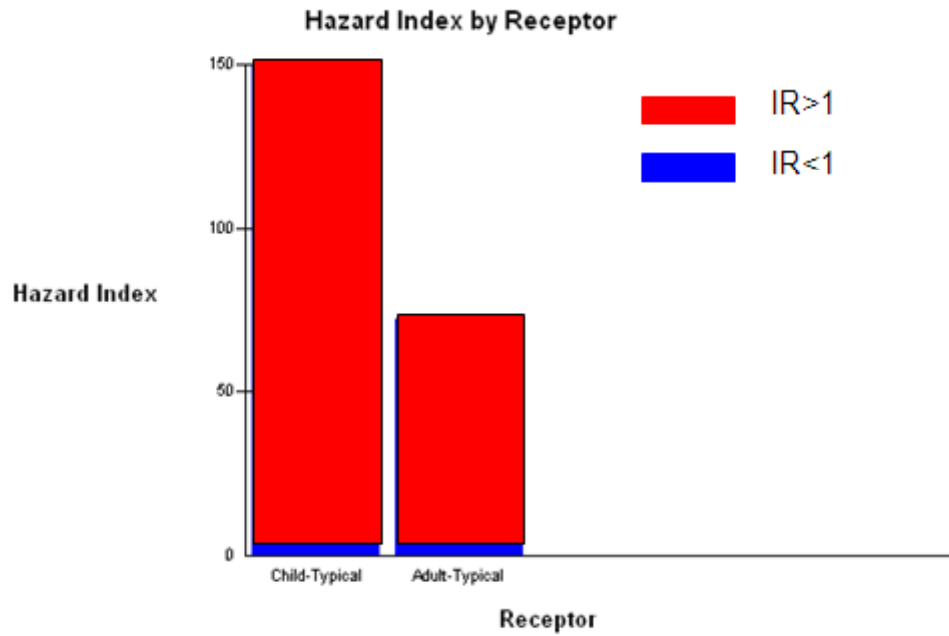


Figure.39 : Indice du risque total du Cr dans l'Oued Meboudja.

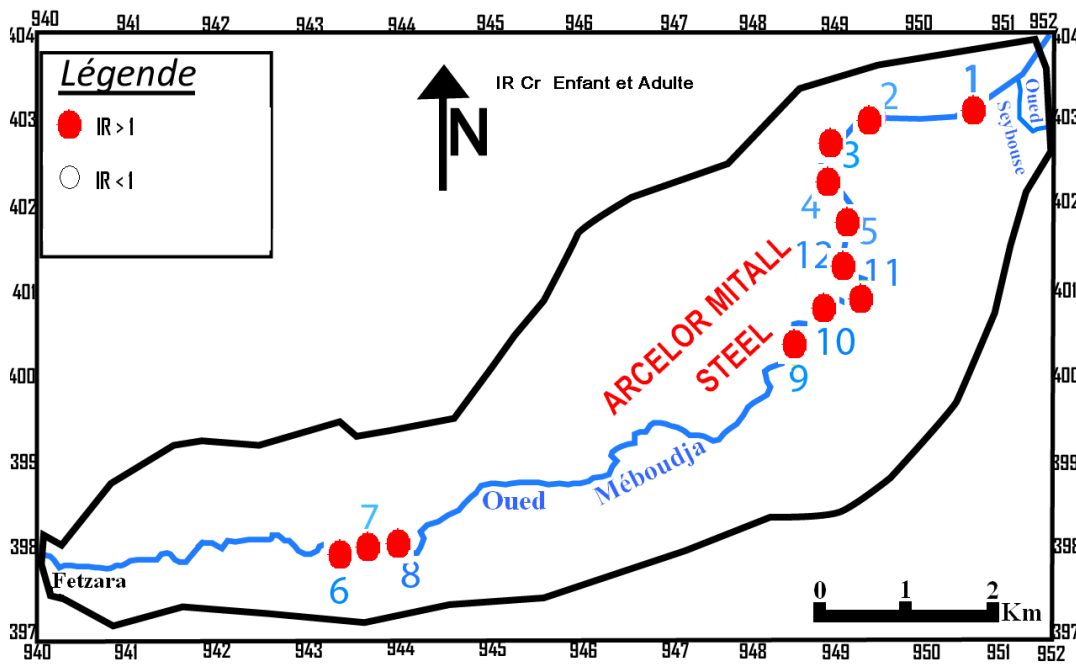


Figure.40 : Carte de L'IR du Cr pour l'enfant et l'adulte (Oued meboudja).

### **3. Conclusion :**

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

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

## Conclusion générale

A l'issue de ce travail, on conclut que les secteurs étudiés (plaines de la Meboudja) ont connu ces dernières années, de grands bouleversements environnementaux. En effet, le développement industriel et urbain 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, 157mm et 208mm 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 d'Elhajar 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 hydro chimique 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.

Le type de pollution qui est bien individualisé est celui de la pollution industrielle, les entreprises industrielles des zones industrielles Meboudja 1 et 2, Arcelor MétallSteel 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.

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

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 zone d'étude a été proposée.

**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.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

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

**Ahmed-Said Y., 1993.** The Edoughleptynites, 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). Mémd'ing. Univ Constantine. 123 p.

**Caby R., Hammor D., 1992.** Le massif cristallin de l'Edough (Algérie) : un "MetamorphicCorecomplex" 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, AfricaGeoscienceReview, 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.

**Derradji F., 2004.** Identification quantitative t qualitative des ressources en eau de la région d'Annaba- El Tarf (Nord-est Algérien). Th. Doct. Es-Sciences, Univ. Annaba. 237p.

**Djabri L., Hani A., Mania J., Mudry J. (2000).** Conséquences des pratiques agricoles sur la qualité des eaux du bassin de la Seybouse (Est algérien). Actes du colloque ESRA'2000, Poitiers, S3, pp.39-42.

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

**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 méthodologique 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 Hydro chimiques. 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.

**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.

**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. D'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 d'Annaba. Rapport A.N.R.H., inédit. Annaba, Algérie.

**Strojexport, 1975.** Prospection géophysique de la plaine d'Annaba. Réinterprétation. Rapport A.N.R.H., inédit, Annaba, Algérie, 30 p.

**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.

**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.