

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

BADJI MOKHTAR-ANNABA UNIVERSITY  
UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR-ANNABA



جامعة باجي مختار- عنابة

Année 2012

Faculté des Sciences de la Terre  
Département de Géologie

## MÉMOIRE

En vue de l'obtention du diplôme de

## MAGISTER

## THÈME

DIAGNOSTIC DE LA POLLUTION DES RESSOURCES  
HYDRIQUES ET EDR SANTÉ DANS LES SOUS BASSINS  
VERSANTS DU SUD-EST DE L'EDOUGH.

Option: Ingénierie des ressources en eau (Hydrogéologie)  
Présenté par

**Amirat Saida**

Ingénieur d'Etat en Hydrogéologie, Université Badji Mokhtar-Annaba

Directeur de mémoire: DJORFI Saâdane

Maître de Conférences (U.B.M. Annaba)

## DEVANT LE JURY

Président: LARABA Abd el Aziz

Maître de Conférences (U.B.M. Annaba)

Examineurs: MAHYA Mohamed

Maître de Conférences (U.B.M. Annaba)

BENHAMZA Moussa

Maître de Conférences (U.B.M. Annaba)

## **REMERCIEMENTS**

Au terme de ce travail, et avant tout, je tiens à exprimer ma profonde gratitude à Dieu tout puissant qui ma aidé et donné le courage pour mener à bien ce travail.

*Les membres du jury d'avoir accepté de lire et juger ce travail.*

**Monsieur le Docteur DJORFI Saâdane** qui, après avoir accepté de prendre la Direction de ce mémoire, m'a donné un goût spécial à l'hydrogéologie, il m'a laissé bien souvent gérer mon travail tout en apportant les critiques et conseils nécessaires lors de son élaboration. Je le remercie vivement pour l'intérêt qu'il a porté pour ce travail, ses précieux conseils, sa disponibilité et sa sympathie.

*Mes remerciements à tous les enseignants du département de géologie de l'université Badji Mokhtar de Annaba.*

*Enfin tous ceux qui m'ont soutenu tout au long de ce travail directement ou indirectement, par leur amitié et leur sympathie, qu'ils trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude.*

**Tout le mérite revient à ma très chère famille Amirat** d'une part et mon époux Ahmed et ma deuxième famille **Mezziche** d'autre part.

**Mes proches amis** qui m'ont bien soutenu et qui n'ont pas cessé de m'apporter un précieux soutien moral. Que ce travail soit le témoignage de ma profonde reconnaissance.

Nos remerciements vont également à tous ceux ayant participé de près ou loin à la réalisation de ce mémoire.

# Dédicace

*Avec un très grand honneur que je dédie ce modeste travail  
à ma chère mère **Beya** et mon très chère père **Mokhtar**.  
Pour ces deux être les plus chères de ma vie, pour leur sacrifices,  
et leurs soutient tout au long de mes études.*

*A qui est dans mon cœur mon époux **Ahmed**  
pour tous ces soutient au moment dure*

*A mon seul ancle **Nacreddine**, à ma grande mère **Zineb**.*

*Mes chères sœurs **Khaoula** et **Boutaina**  
Mes chères frères **Zakaria** et **Yahya***

*A tout ma grande famille **AMIRAT***

*D'ici ou d'ailleurs vous seraient toujours proche de moi.*

*A tous mes chères amies sans exception*

*A toutes mes collègues de la promotion de magistère*

**SAIDA**

## Résumé

L'important développement industriel et démographique dans la plaine de Annaba s'est traduit par un accroissement des rejets induisant une dégradation de l'environnement et de la qualité des eaux superficielles et souterraines. L'étude effectuée sur la qualité des eaux superficielles et souterraines dans les secteurs tributaires des sous bassins versants de l'Edough, les plus exposés à la pollution, en l'occurrence la plaine de Kherraza et la zone industrielle de Berrahal a permis de mettre en évidence la présence d'un gradient de contamination métallique amont-aval. L'évaluation du risque santé (EDR) à l'aide du logiciel RISK4, montre que la majorité des points étudiés présentent un indice du risque (IR) inacceptable pour les deux catégories de la société (enfant et adulte). Dans le but d'améliorer cette situation, des recommandations concernant l'installation d'un système de collecteurs, de drainage et de traitement des rejets industriels ont été proposées.

**Mots-clés:** Pollution, Rejets industriels, Métaux lourds, EDR, Plaine de Annaba.

## Abstract

The major industrial development and population in the plain of Annaba has resulted in an increase in emissions leading to a degradation of the environment and the quality of surface and groundwater. The study on the quality of surface and groundwater in areas dependent on watersheds Edough, most exposed to pollution, in this case plain Kherraza and industrial area Berrahal has enabled revealed the presence of a gradient of metal contamination upstream and downstream. The health risk assessment (EDR) with the software RISK4 shows that the majority of surveyed points present a risk index (RI) unacceptable for two categories of society (children and adults). In order to improve this situation, recommendations for the installation of a collector system, drainage and industrial waste treatment have been proposed.

**Keywords:** pollution, industrial discharges, heavy metals, EDR, Plain Annaba.

## الملخص

أدى تطوير الصناعة الكبرى والسكان في سهل عنابة إلى زيادة انبعاثات مياه الصرف التي تؤدي إلى تدهور البيئة ونوعية المياه السطحية والجوفية. الدراسة على نوعية المياه السطحية والجوفية في مناطق الايدوغ مستجمعات المياه، الأكثر تعرضا للتلوث، في هذه الحالة منطقة خرازة عادي و المنطقة الصناعية برحال كشفت وجود التدرج في التلوث بالمعادن المنبع والمصب. تقييم المخاطر الصحية مع البرنامج خطر 4 يظهر أن غالبية النقاط شملهم الاستطلاع تقديم مؤشر خطر غير مقبولة لفئتين من المجتمع (الأطفال والكبار). من أجل تحسين هذا الوضع وتوصيات لتركيبة نظام الجمع، وقد اقترحت الصرف الصحي ومعالجة النفايات الصناعية. **كلمات البحث:** التلوث، والتصريفات الصناعية والمعادن الثقيلة ، سهل عنابة.

## TABLE DE MATIERE

TITRE :	PAGE :
<b>CHAPITRE 1</b>	
I- Situation géographique.....	3
I-1- Situation régionale.....	3
I-2- Situation de la zone d'étude .....	4
II-Contexte socio-économique .....	4
II-1- Population .....	4
➤ Zone faiblement peuplée .....	5
➤ Zone moyennement peuplée .....	5
➤ Zone fortement peuplée.....	5
II-2- Agriculture .....	6
<i>Les cultures cervelières</i> .....	6
<i>Les cultures industrielles</i> .....	6
<i>Les cultures maraîchers et les légumes secs</i> .....	6
<i>L'arboriculture</i> .....	6
<i>Les terrains incultes</i> .....	6
<i>Les terrains nus</i> .....	7
II-3- L'industrie .....	7
III-Ressources et besoins en eau .....	9
III-1- Besoins en eau .....	10
III-1-1- Besoins en eau potable (AEP) .....	11
III-1-2- Besoins en eau d'industrie (AEI) .....	11
III-1-3- Besoins en eau d'irrigation .....	11
IV-Couvert végétale .....	11
Conclusion .....	13
<b>CHAPITRE 2</b>	

I- Introduction .....	14
II- Les stations de mesures .....	14
III- Données climatiques .....	14
III- III-1- Précipitations .....	14
III-1-1- Représentation mensuelle des précipitations .....	15
III-2- La température .....	16
III-2-1-Diagramme ombrothermique .....	17
III-3- Le vent .....	19
III-4- L'humidité .....	19
III-Le bilan hydrique .....	19
IV-1- L'évapotranspiration .....	20
IV-1-1-L'évapotranspiration potentielle (ETP) .....	20
IV-1-2-L'évapotranspiration réelle (ETR) .....	21
IV-2- Le ruissellement (R).....	22
IV-3- L'infiltration .....	22
IV-4- Représentation graphique du bilan hydrique .....	23
IV-5- Interprétation du bilan hydrique .....	30
Conclusion .....	30
 <b>CHAPITRE 3</b>	
I-Cadre Géomorphologique.....	32
I-1- Les montagnes .....	32
I-1-1 L'Edough .....	32
I-1-2- Le Tell Nord Guelmien .....	33
I-2-la dépression de Fetzara .....	33
I-3- Le domaine des plaines .....	33
I-3-1- <i>La plaine de Annaba</i> .....	33
I-3-2- <i>La plaine d'El Hadjar</i> .....	34

<i>I-3-3-La plaine de Kherraza</i> .....	34
I-4- Les plages .....	34
II- Cadre géologique .....	35
II-1- Stratigraphie .....	35
II-1-1- Formations sédimentaires .....	36
II-1-1-1- Le Quaternaire .....	36
II-1-1-1-1- Le Quaternaire actuel .....	36
II-1-1-1-2- Le Quaternaire récent .....	36
II-1-1-1-3- Le Quaternaire moyen .....	36
II-1-1-1-4- Le Quaternaire ancien.....	36
II-1-1-2- Le Tertiaire .....	36
II-1-1-2-1- Le Mio-Pliocène .....	36
II-1-1-2-2- L'Oligocène .....	37
II-1-1-2-3- L'Eocène inférieur .....	37
II-1-1-3- Le Secondaire .....	37
II-1-1-3-1- La chaîne de Calcaires .....	37
II-1-1-3-2- Domaine des flyschs .....	37
II-1-2- Formations métamorphiques .....	37
II-1-2-1- L'unité supérieure .....	38
II-1-2-2- L'unité intermédiaire .....	38
II-1-2-3- L'unité inférieure (ou de base) .....	38
II-2- Tectonique .....	40
II-2-1- Les unités tectoniques.....	40
II-2-1-1- Le cristallin de l'Edough.....	40
II-2-1-2- Série de flyschs d'âge Eocène.....	40
II-2-1-3- Mio-Pliocène.....	40
II-2-1-4- Quaternaire.....	40
II-2-2- Effondrement de la plaine de Annaba.....	40
Conclusion.....	42
<b>CHAPITRE 4</b>	
I –Introduction.....	43
I-2- Description des différents aquifères.....	43

I-2-1- Aquifère superficiel.....	43
I-2-1-1- Nappe des gneiss altérés.....	43
I-2-1-2- La nappe du cordon dunaire.....	44
I-2-1-3- La nappe des cailloutis des terrasses.....	44
I-2-1-4- La nappe des alluvions récentes et actuelles.....	44
I-2-2- Aquifère profond.....	44
I-2-2-1- La nappe des cipolins.....	44
I-2-2-2- La nappe des graviers.....	45
I-3- La piézométrie.....	47
I-3-1- Etablissement de la carte piézométrique.....	47
I-3-1-1- La zone industrielle de Berrahal.....	47
I-3-1-3- La plaine de Kharéza.....	50
II -1- La nappe phréatique.....	50
II -2- La nappe profonde.....	50
I-3-1-4-1-Interprétation de la carte piézométrique.....	52
Conclusion.....	54

## **CHAPITRE 5**

I- Introduction.....	56
II- La plaine de Kharraza.....	56
II-1- Echantillonnage et méthodes d'analyse.....	56
II-2- Interprétation des résultats.....	57
II-2-1- La température.....	57
II-2-2- Le pH.....	57
II-2-3- La conductivité électrique (CE).....	58
II-2-4- Solide total dissous (TDS).....	59



II-2-5- La DBO <sub>5</sub> .....	60
II-2-6- Les métaux lourds.....	61
II-2-6-1- Le Chrome (Cr).....	61
II-2-6-2- Le Fer Total (Fer T).....	62
II-2-6-3- Le Plomb (Pb).....	63
II-2-6-4- Le Cuivre (Cu).....	64
II-2-6-5- Le Zinc (Zn).....	65
III- La zone industrielle de Berrahal et le lac Fetzara.....	66
III-1- Echantillonnage, méthodes d'analyse .....	66
III-2- Interprétation des résultats .....	67
III-2-1- La température .....	67
III-2-2- Le pH .....	67
III-2-3- La conductivité électrique (CE) .....	68
III-2-4- La dureté totale (TH) .....	69
III-2-5- La DBO <sub>5</sub> .....	70
III-2-6- Les métaux lourds .....	71
III-2-6-1- Le Plomb (Pb) .....	71
III-2-6-2- Le Fer total (Fe. T) .....	72
III-2-6-3- Le Cuivre (Cu) .....	73
III-2-6-4- Le Manganèse .....	74
III-2-6-5- Le Nickel (Ni) .....	75

Conclusion .....	76
------------------	----

## **CHAPITRE 6**

I-Introduction .....	78
II- La toxicité des métaux lourds.....	78
II-1- Le Chrome (Cr).....	78
II-1-1- Impact sur l'environnement.....	78
II-1-2- Impact sur la santé.....	79
II-2- Le Plomb (Pb).....	79
II-2-1- Impact sur la santé.....	79
II-3- Le Fer total (Fe. t).....	79
II-3-1- Impact sur l'environnement.....	79
II-3-2- Impact sur la santé.....	80
II-4- Le Cuivre (Cu).....	80
II-4-1- Impact sur l'environnement.....	80
II-4-2- Impact sur la santé.....	80
II-5- Le Nickel (Ni).....	80
II-5-1- Impact sur l'environnement.....	81
II-5-2- Impact sur la santé.....	81
II-6- Le Zinc (Zn).....	81
II-6-1- Impact sur l'environnement.....	81
II-6-2- Impact sur la santé.....	81
III- Evaluation des risques des métaux lourds sur la santé.....	82
III-1- Définition des concentrations d'exposition.....	82
III-2- Estimation des doses d'exposition.....	82
III-2-1- Dose journalière d'exposition (DJE) : Est donnée par la relation suivante.....	82
III-2-3- Dose journalière acceptable (DJA).....	83
IV- Estimation du risque.....	83
IV-1- Estimation du risque non cancérigène.....	83
IV-2- Estimation du risque cancérigène.....	83
VI-2-1. Plaine de Kherraza .....	84
VI-2-2. Secteur de Berrahal.....	86

Conclusion .....90

## Listes des figures

<b>Figures :</b>	<b>Page :</b>
Fig. n°01 : Carte de situation géographique de la plaine d' Annaba.....	3
Fig.02. Carte d'occupation du sol par l'industrie autour du lac Fetzara (in Lekoui S. 2011)....	8
Fig.03. Carte d'occupation du sol de la zone industrielle de Berrahal.....	9
Fig. 04. Représentation graphique des besoins en eau selon les trois secteurs.....	11
Fig. 5 : Précipitations moyennes mensuelles (°C) des stations Salines, Séraïdi et Berrahal (1980/2010).....	15
Fig. 6 : Température moyenne mensuelle (°C), Salines et Séraïdi (1980/2010).....	16
Fig.07.Courbe ombrothermique –station des salines«1980/2010».....	17
Fig.08.Courbe ombrothermique –station de séraïdi«1980/2010».....	18
Fig.09.Courbe ombrothermique –station de Berrahal«1980/2010».....	18
Fig.10 : Représentation graphique du bilan d'eau (en mm) selon la méthode de Thornthwaite pour la station des Salines «1980-2010».....	25
Fig. 11 : Représentation graphique du bilan d'eau (en mm) selon la méthode de Thornthwaite pour la station de Séraïdi «1980-2010».....	27
Fig. 12 : Représentation graphique du bilan d'eau (en mm) selon la méthode de Thornthwaite pour la station de Berrahal «1980-2010».....	29
Fig.13. Carte géomorphologique de la région étudiée.....	35
Fig.14.Extrait de la carte géologique de l'extrême Nord-Est Algérien (D'après J.M.VILA 1978).....	39
Fig. 15. Esquisse structurale des plaines de Annaba-Bouteldja (Sonatrach, 1969 in Hani, 2003 modifiée).....	41
Fig.16 .Coupe géologique montrant les différentes nappes de la plaine d'Annaba (D'après D.G.R.H.A 1967) modifiée.....	45
Fig. 17. Coupes au travers la plaine d'Annaba (ANRH, 1976, in Hani 2003, modifiée).....	46
Fig. 18. Carte d'inventaire des points d'eaux dans la région de Berrahal.....	48
Fig. 19. Carte piézométrique de la zone de Berrahal (Mai 2011) .....	49
Fig.20. Carte hydrogéologique schématique de la plaine de Kherraza.....	51
Fig. 21. Carte d'inventaire des points d'eaux dans la plaine de Kharéza Mai, 2011.....	52
Fig.22. Carte piézométrique le long de L'oued Boudjamaa Décembre 2011.....	53
Fig.23. Carte piézométrique le long de L'oued Boudjamaa Décembre 2011(Hautes eaux)....	53
Fig . 24 : Evolution de la température des eaux de la plaine de Kherraza (Décembre, 2011 et Mai, 2012).....	57
Fig.25. Carte du pH des eaux de la plaine de kharraza (Mai, 2012).....	58
Fig. 26. Carte de la Conductivité des eaux de la plaine de kharraza (Mai, 2012).....	59

Fig.27. Carte de la concentration en TDS des eaux de la plaine de kharraza (Mai, 2012).....	60
Fig. 28. Carte de la DBO <sub>5</sub> des eaux de la plaine de kharraza (Mai, 2012).....	61
Fig.29. Carte de la concentration en Cr des eaux de la plaine de kharraza (Mai, 2012).....	62
Fig. 30. Carte du Fer total des eaux de la plaine de kharraza (Mai 2012).....	63
Fig.31. Carte de la concentration en Pb des eaux de la plaine de kherraza (Mai, 2012).....	64
Fig.32. Carte des teneurs en Cuivre des eaux de la plaine de kharraza (Mai, 2012).....	65
Fig.33 Carte des teneurs en Zinc des eaux de la plaine de kharraza (Mai, 2012).....	66
Fig.34. Carte d'inventaire des points d'eaux et des effluents industriels.....	67
Fig. 35. Carte du pH des eaux de la zone de Berrahal.....	68
Fig. 36. Carte de la conductivité électrique des eaux de Berrahal.....	69
Fig. 37. Carte de la Dureté des eaux de Berrahal.....	70
Fig. 38. Carte de la DBO <sub>5</sub> des eaux de Berrahal.....	71
Fig. 39. Carte du Pb des eaux de Berrahal.....	72
Fig. 40. Carte du Fer Total des eaux de Berrahal.....	73
Fig.41. Carte du Cu des eaux de Berrahal.....	74
Fig.42. Carte du Mn des eaux de Berrahal.....	75
Fig. 43. Carte du Ni des eaux de Berrahal.....	76
Fig.44. Indice du risque total du Pb dans la plaine de Kharraza.....	85
Fig.45 .Carte de L'IR du Pb pour l'enfant (A) et pour l'adulte (B) (Kharraza).....	86
Fig.46. Indice du risque total du Pb dans la zone industrielle de Berrahal.....	88
Fig.47 .Carte de L'IR du Pb pour l'enfant (A) et pour l'adulte (B) dans le secteur de Berrahal.....	88

## Listes des tableaux

<b>Tableaux :</b>	<b>Page :</b>
Tab.n°1.Répartition de la population de la région d'Annaba (Source ONS 2008).....	4
Tab.n°2. Bilan de la production d'eau (m <sup>3</sup> /j). (D'après SEATA).....	10
Tab. n° 03 : Les stations météorologiques d'observation ( les Salines, Séraïdi et Berrahal ) (D'après L'ANRH Constantine).....	14
Tab. n°04 : Précipitations moyennes mensuelles en (mm)(station des Salines, Séraïdi et Berrahal « 1980-2010 »).....	15
Tab. n°05 : Températures moyennes mensuelles en (°C) de station des Salines et Séraïdi (station des salines « 1980-2010»).....	16
Tab n°06 . la vitesse moyenne mensuelle du vent en (m/s) pour la station des Salines.( 2000- 2010)......	19
Tab. n°07 . Les moyennes mensuelles de l'humidité relative à la station des Salines en (%) (1984-2010).....	19
Tab. n° 08 . Déterminations des paramètres de l'évapotranspiration réelle.....	21
Tab. n°09 . Détermination des paramètres de ruissellement.....	22
Tab. n°10 : Détermination des paramètres d' infiltration.....	23
Tab.n° 11 . Estimation de la RFU selon la formule de Hallaire.....	24
Tab.n°12. Bilan hydrique pour la station des Salines.....	24
Tab. n° 13. Bilan hydrique pour la station de Séraïdi.....	26
Tab. n° 14. Bilan hydrique pour la station de Berrahal.....	28
Tab.n°15. Paramètres hydrodynamiques des aquifères de la plaine d'Annaba.....	47
Tab.n°16. Indice du risque total pour l'usage des eaux souterraines (plaine de Kharraza)....	84
Tab.n°17. Indice du risque total pour l'usage des eaux souterraines : secteur de Berrahal.....	87

# *Introduction*

## INTRODUCTION

La lutte contre la pollution de l'environnement exige le recensement des sources éventuelles de pollution « d'origine industrielle, agricole ou urbaine ». La connaissance de l'origine, de la nature et du caractère du polluant (toxique ou nocif), ainsi que sa teneur par rapport aux normes permet de proposer des méthodes et moyens appropriés pour lutter contre cette pollution.

La région d'Annaba, située à l'extrême Est du pays, que nous étudions dans le cadre de ce travail a fait l'objet, durant ces dernières années, de nombreux travaux d'expertise et de recherche. Les résultats de ces travaux ont soulevé les problèmes de la dégradation de la qualité de l'environnement et des ressources naturelles (sol, eau, air,...).

Les études réalisées, par exemple, sur les rejets des unités industrielles de la région de Berrahal montrent de très fortes concentrations en éléments chimiques potentiellement nuisibles et qui ont pour corollaire une dégradation de la qualité des eaux superficielles et souterraines du sous bassin du lac Fetzara, une détérioration des eaux de baignade et des impacts négatifs sur la faune et la flore. Le stockage des déchets industriels, au niveau de certaines unités, directement sur le sol a provoqué une contamination des eaux superficielles et souterraines par plusieurs métaux lourds.

Les résultats des analyses physico-chimiques effectuées sur les rejets d'origines urbaines et industrielles au niveau de la plaine ouest et Kherraza montrent une forte pollution véhiculée par les eaux et une dégradation qualitative des eaux souterraines, surtout dans les parties situées dans les secteurs situés à l'aval hydraulique.

Les résultats tirés de ces deux exemples démontrent clairement que l'étendue de la gravité des problèmes environnementaux dans cette région affecte :

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

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

-Dans la première partie (chap. : I,II), nous analyserons le contexte général de la région d'étude sous différents points de vue : situation géographique et aperçu socioéconomique, et conditions hydroclimatologique.

-Dans la deuxième partie(III,IV),contextes géomorphologique et géologique d'une part et conditions hydrogéologiques d'autre part



-Dans la troisième partie (chap. : V et V1), nous essayerons, dans un premier volet, de définir les caractéristiques hydrochimiques des eaux et de mettre en relief la présence de pollution en relation avec les sites étudiés. Le deuxième volet sera consacré à l'évaluation du risque santé (selon les différents scénarii) et à l'extension spatiale de ces risques.

Enfin, en fonction de la gravité de la situation, des recommandations et des propositions d'aménagement des sites pollués seront proposées.

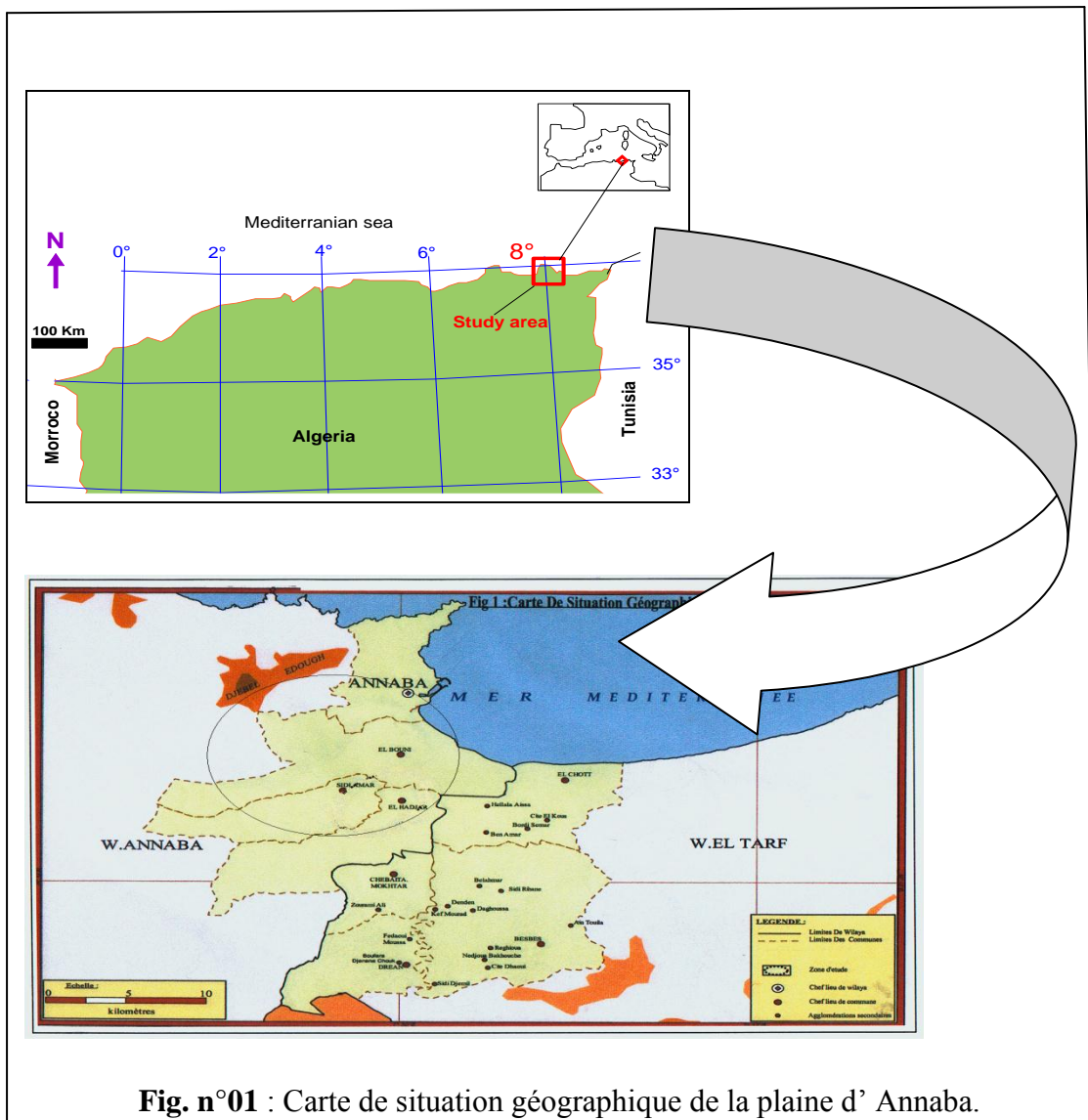
# *1ere partie*

## **CHAPITRE 1 : SITUATION GÉOGRAPHIQUE ET APERÇU SOCIOÉCONOMIQUE**

## I- Situation géographique :

### I-1- Situation régionale:

La région de ANNABA est située au Nord-Est algérien sur la totalité de la frange tellienne entre les latitudes  $36^{\circ}30'$  Nord et  $37^{\circ}03'$  et les longitudes  $7^{\circ}20'$  Est et  $8^{\circ}40'$ . Elle occupe une position stratégique sur le littoral septentrional de la Méditerranée. Elle s'étend sur une superficie de  $1412 \text{ km}^2$ , sa population est de 600.000 habitants environ, soit une densité de  $425 \text{ hab/km}^2$ . Elle est limitée au Nord par la mer Méditerranée, au Sud la wilaya de Guelma, à l'Est la wilaya de Tarf et à l'Ouest par la wilaya de Skikda (**Fig.1**).



## **I-2- Situation de la zone d'étude :**

La zone d'étude longe le massif de l'Edough selon une direction Est- Ouest correspondant approximativement au tracé de la route nationale N°44 (Annaba - Constantine). Elle est tributaire des bassins versants de l'Est, du Sud et du Sud Ouest du massif de l'Edough. Elle englobe la plaine ouest de la ville de Annaba, la plaine de Kherraza, la plaine de l'oued Zied, le lac Fetzara et la région de Berrahal.

Les limites de la zone d'étude sont :

Au Nord : le massif de l'Edough et les communes de l'oued Al-Aneb et Treat.

A l'Ouest : la commune de Boumaiza.

Au Sud et Sud-est: les massifs de Bellelieta, de Bouhamra et la dépression du lac Fetzara  
Enfin à l'Est: La méditerranée.

## **II-Contexte socio-économique :**

### **II-1- Population :**

D'après le service communal-recensement 2008 et la direction de planification et d'aménagement du territoire la wilaya de Annaba comptabilise une population d'environ 600.000 habitants (tab 1)

<b>Commune</b>	<b>Cités</b>	<b>Estimation 2008</b>
<b>Annaba</b>		233927
<b>Oued El-Aneb</b>	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, Derradji Redjem, Bergouga, Derradji Redjem, 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

**Tab.1-**Répartition de la population de la région d'Annaba (Source ONS 2008).

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 cites implantées de part et d'autres, qui sont en extension continue. Parmi elles, on cite Oued Zied, Berka Zerga, Hadjar Eddiss, Kherraza et Bergougga.

Les derniers recensements ont permis d'apprécier la répartition de la population, qui présente une grande intégralité. Elle se concentre le plus souvent autour des zones industrielles, terres agricoles et des points d'eau. On distingue trois zones :

➤ ***Zone faiblement peuplée :***

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

➤ ***Zone moyennement peuplée :***

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

➤ ***Zone fortement peuplée :***

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

## **II-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 pendant la période principale de précipitation, des cultures d'été pendant la période sèche ou l'on pratique l'irrigation, et d'autres produits qu'on peut cultiver durant toute l'année ; On cite :

### ***Les cultures cervelières :***

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

### ***Les cultures industrielles :***

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

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

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

### ***L'arboriculture :***

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

### ***Les terrains incultes :***

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

### ***Les terrains nus :***

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

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

### **II-3- L'industrie :**

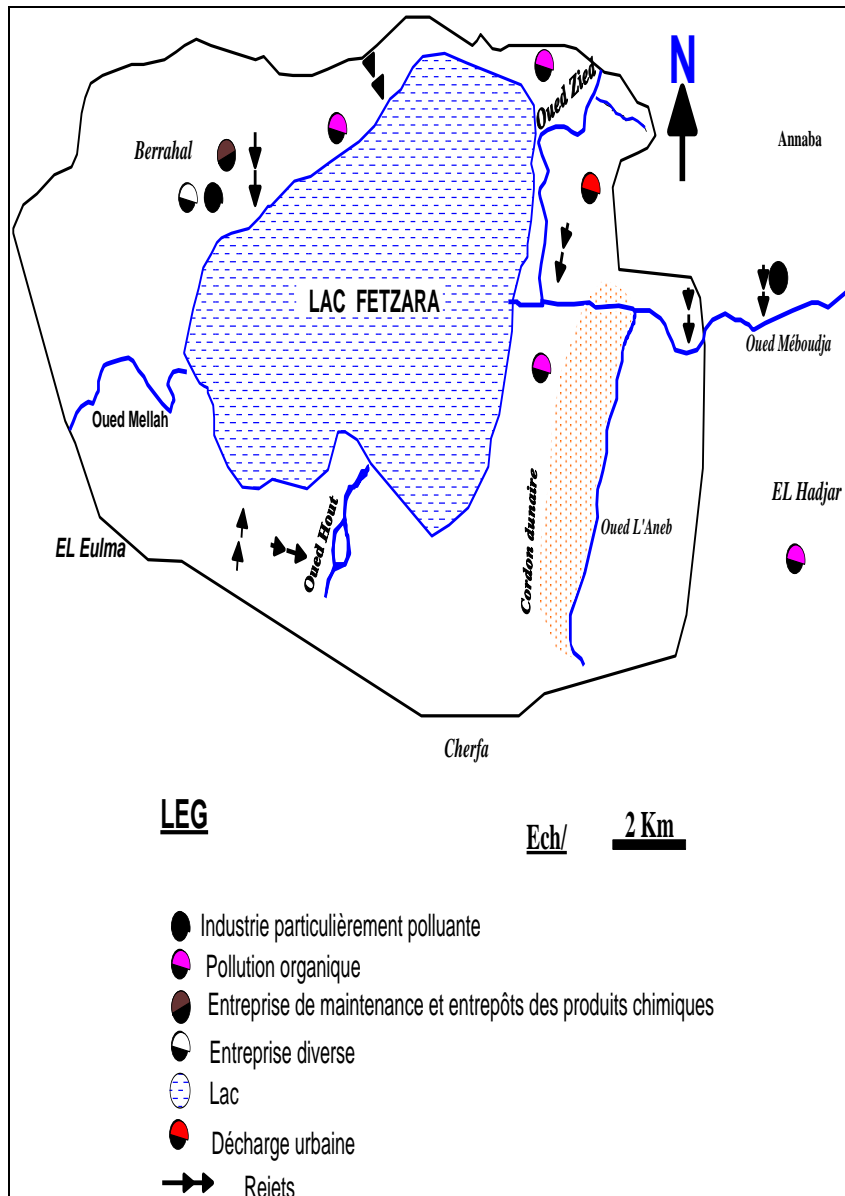
Elle occupe dans la région une place importante, elle se positionne surtout en bordures de l'oued Méboudja et la Seybouse II y a :

- La zone industrielle de Kalitoussa à Berrahal.
- L'industrie lourde (SIDER, S.N.V.I., FERROVIAL),
- L'industrie pétrochimique (ASMIDAL),
- La zone industrielle de l'Allelik
- L'industrie légère (ORELAIT),
- De nombreuses PMI (petites et moyennes industries) généralement agroalimentaires ou de transformation de la plaine de Kherraza.

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

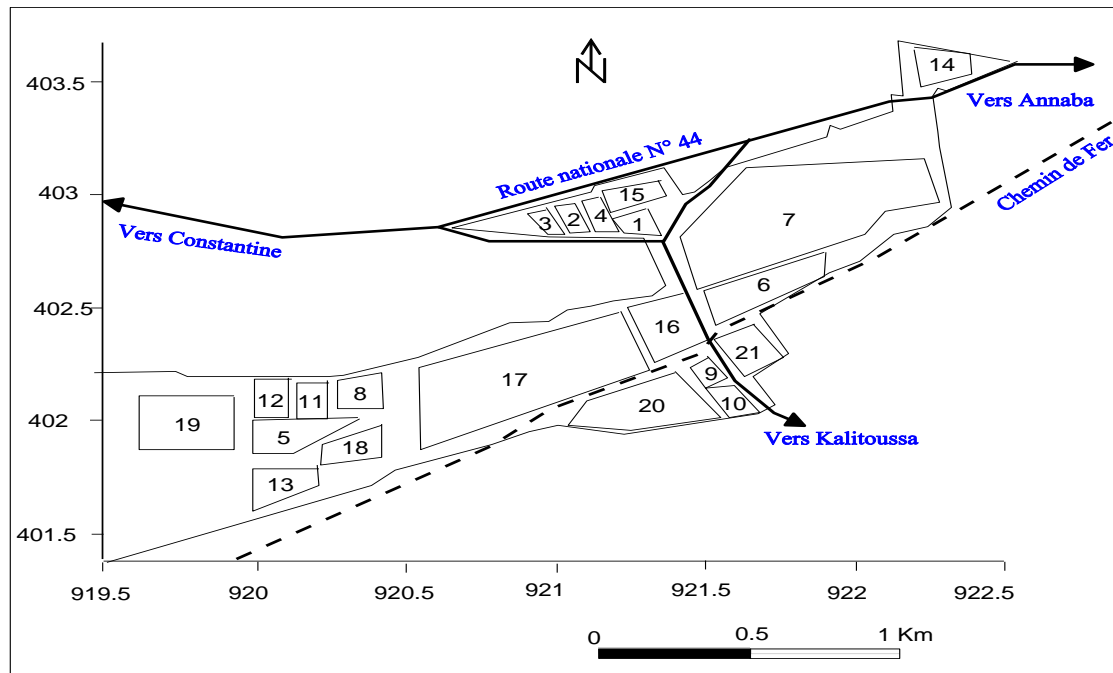
- Industries particulièrement polluantes : (Sider, Kalitoussa, Méboudja I et II, Asmidal, Orelait et Génis-Sider);
- Industries alimentaires et agro-alimentaires : (Agrifed,...etc.)

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



**Fig.02.** Carte d'occupation du sol par l'industrie autour du lac Fetzara (in Lekoui S. 2011)





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

**Fig.03.** Carte d'occupation du sol de la zone industrielle de Berrahal

### III-Ressources et besoins en eau :

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

Le barrage Cheffia, d'un volume régularisable de 95 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 willaya d'Annaba. Il permet la mobilisation de 16 millions de m<sup>3</sup>/an pour Annaba.

Les champs de captage sont composés de 32 forages à Bouteldja produisant 28000m<sup>3</sup>/j ,9 forages aux Salines dont 7 forages fonctionnant 24h/24h assurent 10000m<sup>3</sup>/j et 5 forages à Pont Bouchet pouvant assurer 3000m<sup>3</sup>/j (actuellement 1 forage en exploitation).Ces derniers forages produisent une eau de mauvaise qualité (RS =1.9 à 2.2 g/l), ils ont été réalisés en 1990 dans le cadre d'un programme d'urgence pour faire face à une période de sécheresse.

Le Tableau (4) montre bien la quantité d'eau mobilisable à travers les ressources disponibles et son affectation d'après SEATA (Société de l'Eau et l'Assainissement de Tarf et Annaba).

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

**Tableau.2.** Bilan de la production d'eau (m<sup>3</sup>/j). (D'après SEATA)

### III-1- Besoins en eau :

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

#### III-1-1- Besoins en eau potable (AEP) :

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

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

### III-1-2- 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.

### III-1-3- 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 %.

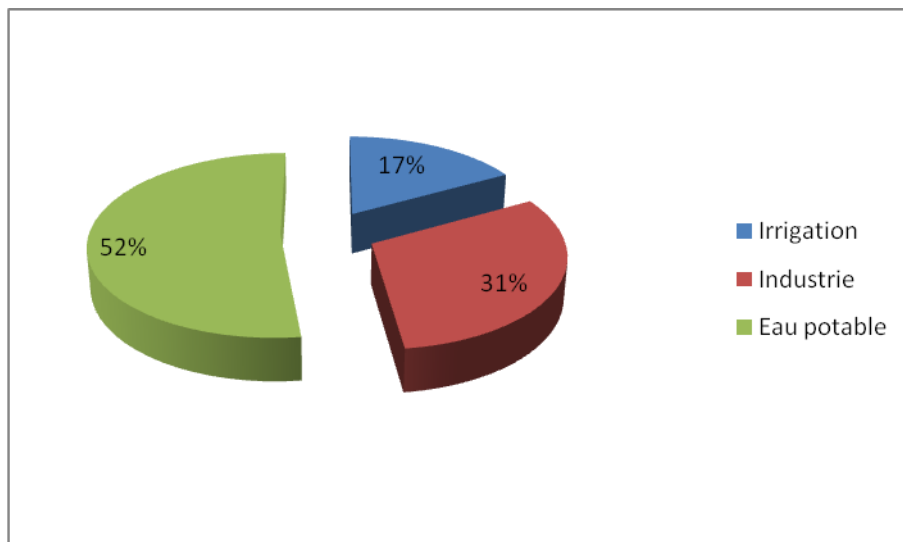


Fig. 04. Représentation graphique des besoins en eau selon les trois secteurs

## IV-Couvert végétale :

L'ensemble du territoire montagneux du périmètre d'étude est dominé par une forêt à base de maquis et broussailles de type méditerranéen qui s'étend sur une superficie assez importante de 6650 ha soit 26 % du périmètre d'étude.

Les espèces végétales les plus répandues de ce maquis sont les Cistes, les Bruyères, les Lentisques, les Myrtes Arbousiers, Diss, Gendouls et les Oliviers nains.

Le bois naturel qui autre fois était plus développé ne subsiste pratiquement qu'au fond de la vallée de l'oued Oureida sous forme de chêne liège. Partout ailleurs il à été détruit par les nombreux incendies depuis l'époque coloniale.

Des les années 70 des travaux forestiers ayant pour but la mise en valeur et la protection de cet environnement ont été entrepris par la création des tranchées pare-feux, des pistes

forestières, des banquettes de drainage des eaux pluviales et des reboisements d'Eucalyptus et de pin Maritime.

Malheureusement ces réalisations sont à leur tour en voie de dégradation par l'absence d'entretien et surtout les incendies.

Ces reboisements se retrouvent principalement sur les hauteurs d'oued Zied, oued Nil, Hdjar Ediss, sur les versants du djebel Boughantas, sur Kef N'Sour, aux environs du cimetière Sidi Harb et à l'intérieur du parc du Cap de Garde.

Les vallées de Sidi Harb et d'Oued Forcha sont occupées par une végétation variée (oliviers, vergers, broussailles et maquis). Les terres de plaine en dehors des tissus urbanisés représentent la quasi-totalité des terres agricoles du périmètre d'étude.

Ce sont des terres alluvionnaires d'origine fluviale et laguno-marin à haute valeur agropédologique où toute sorte de culture peut être pratiquée.

Certaines terres comme celles de la bordure du lac Fetzara, de Kheraza aux environs de l'ancien confluent oued Boudjamaa - oued Méboudja ne sont exploitées pratiquement que pendant la saison sèche à cause de la stagnation des eaux en saison pluviale. (Centre d'étude et de Réalisation en Urbanisme, PD AU Intercommunal Annaba - El Bouni, Sidi Ammar - El Hadjar, Volume **1,1996**)

### **Conclusion :**

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

## **CHAPITRE 2 : CONDITIONS HYDROCLIMATOLOGIQUES**

## **I-Introduction :**

La plaine de Annaba est soumise à un climat méditerranéen à variations saisonnières marquées par un été chaud et sec et un hiver froid et humide, qui offrent à la zone d'étude le caractère pluvieux et tempéré, les principales directions des vents sont de Nord à Nord-est.

Par ailleurs, il est nécessaire d'établir le bilan hydrique qui permet d'évaluer la répartition des précipitations entre les différentes composantes du bilan à savoir l'écoulement, l'infiltration et l'évaporation.

Cette étude hydroclimatologique nécessite, donc, des renseignements bien précis sur les différents facteurs qui régissent les variations climatiques. La connaissance des paramètres qui conditionnent ce bilan est donc indispensable (précipitations, évaporation, infiltration et ruissellement).

## **II-Les stations de mesures :**

Notre étude est basée sur les données disponibles de trois stations pluviométriques : les Salines, Séraïdi et Berrahal, pour une période d'observation de 30 ans (1980/2010).

Le tableau 03, récapitule quelques indications sur les stations (coordonnées Lambert, périodes d'observations...)

<b>Stations</b>	<b>Coordonnées</b>				<b>Période d'observation</b>
	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>	<b>Code</b>	
<b>Les salines</b>	955.80	403.8	3	60360	1980/2010
<b>Séraïdi</b>	943	412.5	840		1980/2010
<b>Berrahal</b>	923.35	405.56	33	031302	1980/2010

**Tab. n° 03 : Les stations météorologiques d'observation ( les Salines, Séraïdi et Berrahal ) (D'après L'ANRH Constantine)**

## **III- Données climatiques :**

### **III-1- Précipitations :**

Les précipitations représentent le facteur le plus important dans l'évolution du bilan hydrique. Elles conditionnent l'écoulement saisonnier et affecte le régime des cours d'eaux et l'alimentation des nappes aquifères.

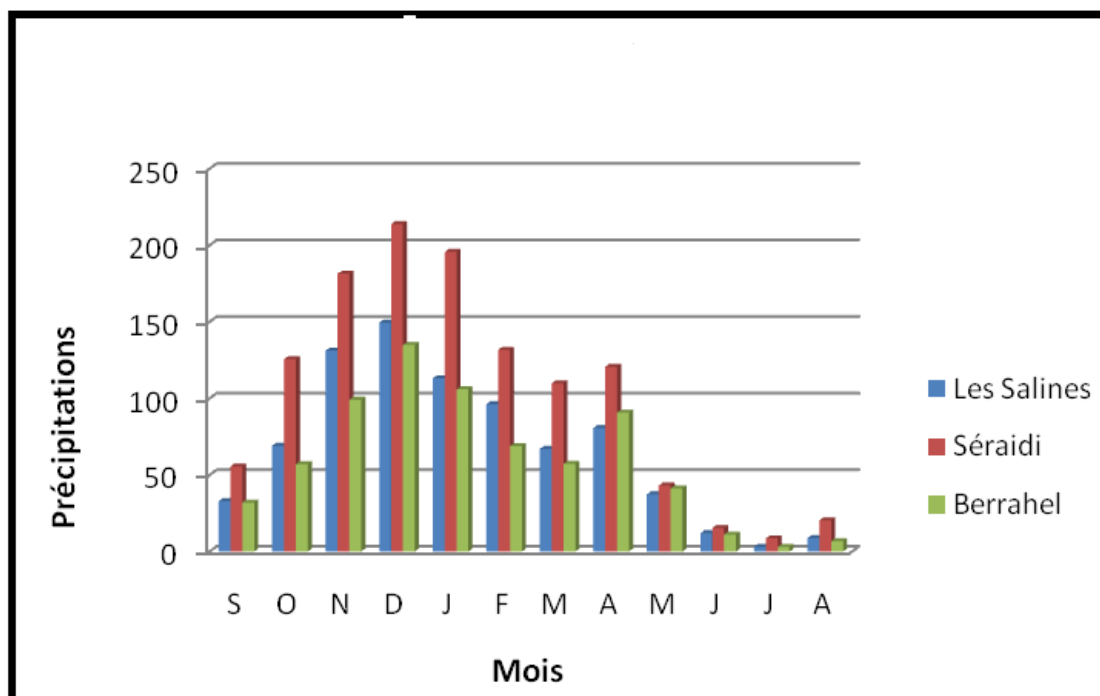
La région étudiée compte parmi les régions les plus arrosées d'Algérie.

### III-1-1- Représentation mensuelle des précipitations :

Les données recueillies au niveau des stations d'observation sur une période de 30 ans (tab: 04) montrent que la variation des précipitations est soumise aux fluctuations saisonnière. Les moyennes mensuelles des hauteurs pluviométriques enregistrées dans ces trois stations (fig. 05) indiquent que le maximum est observé au mois de Décembre avec 149,41mm (Salines), 213,8mm (Séraidi) et 134,8mm (Berrahal) ; alors que le minimum est observé au mois de Juillet avec 3,01mm (Salines), 8,6mm (Séraidi) et 2,9mm (Berrahal).

Station /mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	MOY
Les Salines	33	69,18	131,22	149,41	112,98	96,16	67	80,64	37,33	11,95	3,01	8,8	66,715
Séraidi	56	125,51	181,3	213,8	195,6	131,6	109,9	120,7	43,1	15,3	8,6	20,41	101,785
Berrahel	32	57	99,1	134,8	105,9	68,9	57,3	90,7	41,2	11,1	2,9	6,8	58,9

**Tab. n°04 : Précipitations moyennes mensuelles en (mm)**  
(station des Salines, Séraidi et Berrahal « 1980-2010 »)



**Fig. 5 : Précipitations moyennes mensuelles (°C) des stations Salines, Séraidi et Berrahal (1980/2010)**

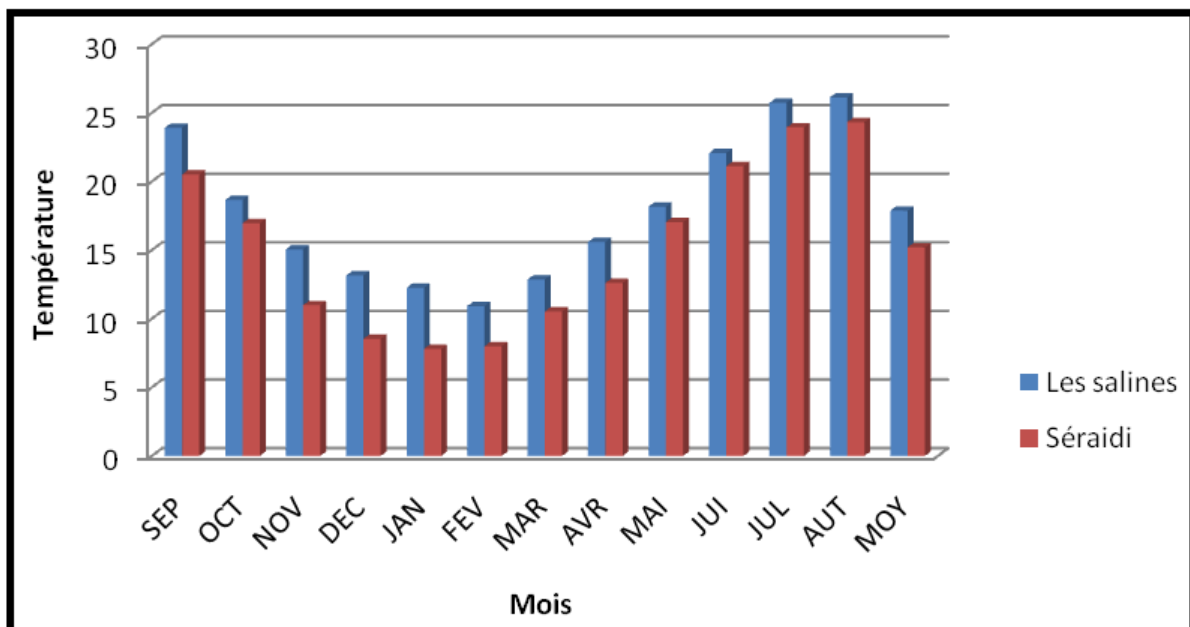
### III-2- La température :

La température joue un rôle déterminant dans l'étude de l'évaporation et de l'évapotranspiration. Elle permet d'étudier l'évapotranspiration et le déficit d'écoulement annuel et saisonnier intervient dans le développement du rythme biologique des végétaux, et elle facilite l'établissement du bilan hydrique.

Les données températures disponibles sont des valeurs moyennes mensuelles mesurées au niveau des deux stations (les Salines et Séraïdi) sur une période de 30 ans.

Stations	SE P	OC T	NO V	DE C	JA N	FE V	MA R	AV R	MAI	JUI	JUL	AUT	MOY
Les Salines	23,91	18,65	15,05	13,15	12,25	10,91	12,86	15,59	18,16	22,06	25,72	26,12	17,86
Séraïdi	20,51	16,96	10,98	8,53	7,8	7,98	10,52	12,6	17,03	21,11	23,94	24,32	15,19

**Tab. n°05 : Températures moyennes mensuelles en (°C) de station des Salines et Séraïdi « 1980-2010».**



**Fig. 6 : Température moyenne mensuelle (°C), Salines et Séraïdi (1980/2010).**

D'après le graphe (fig. 6), on distingue que les plus fortes valeurs caractérisent les mois de Juillet et Août elles peuvent atteindre 25°C. Les plus faibles valeurs sont enregistrées au mois de Février et sont de l'ordre de 10°C.



### III-2-1-Diagramme ombrothermique :

On appelle aussi la courbe pluviométrique, il est la combinaison des facteurs thermique et pluviométrique selon la relation ( $Pmm = 2T^{\circ}C$ ). Il permet de déterminer les mois véritablement secs et humides (fig.07).

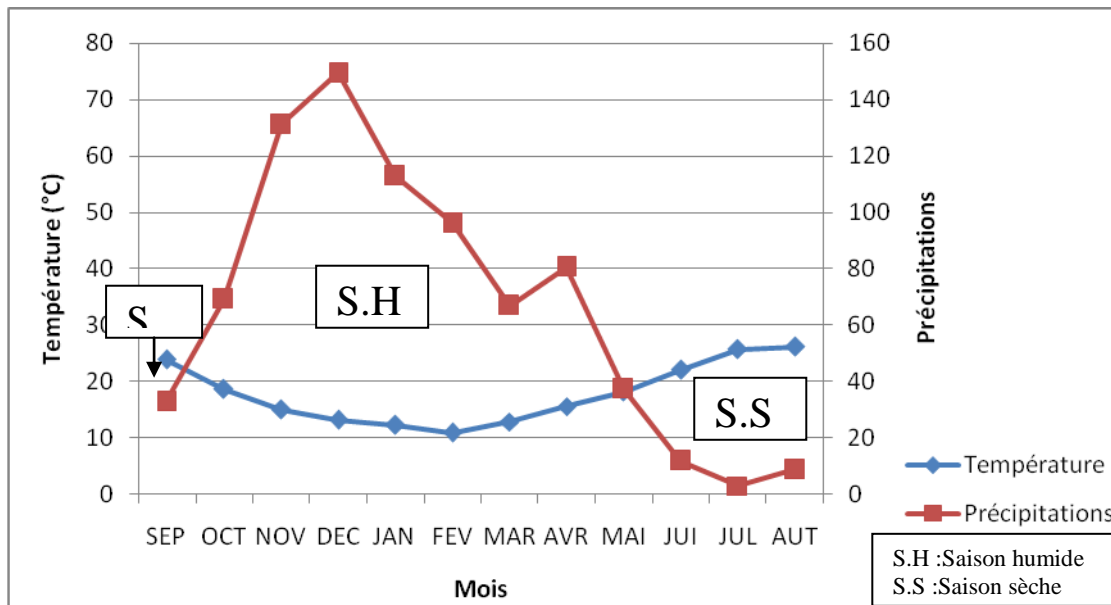
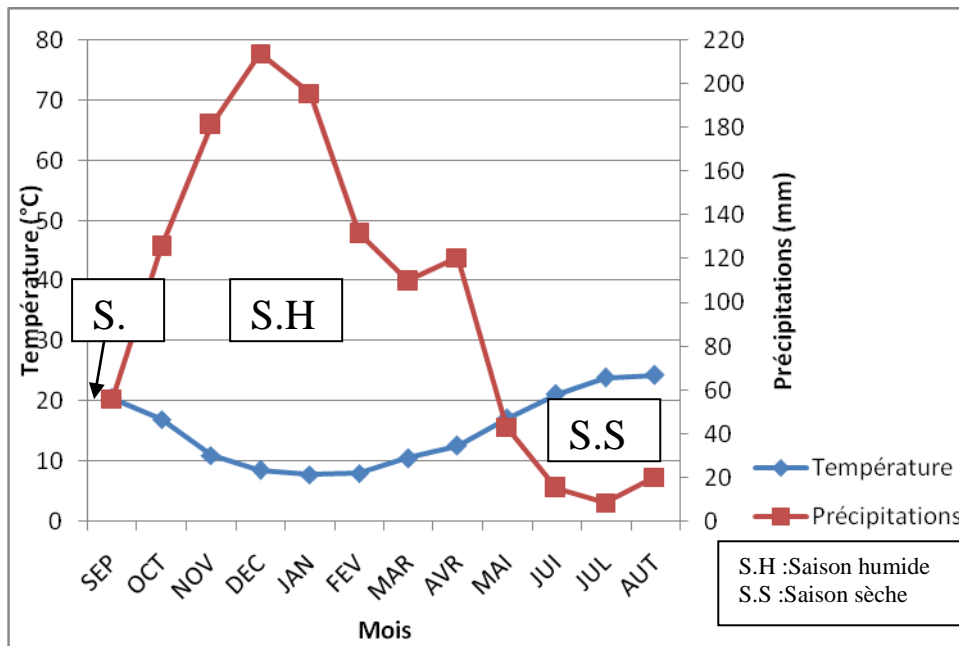
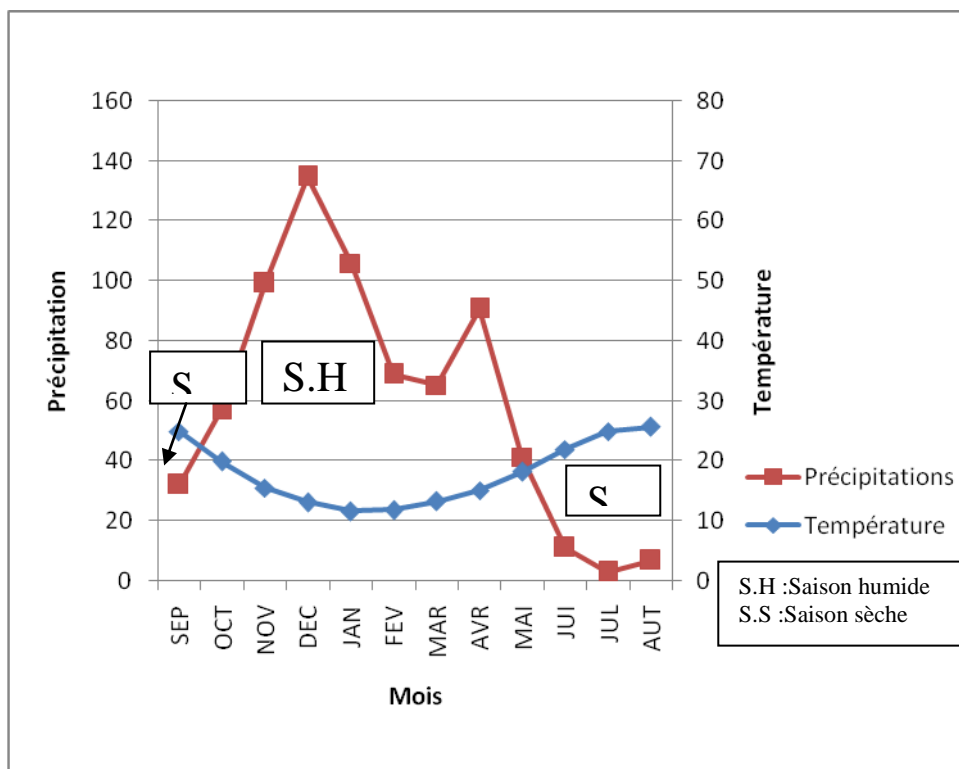


Fig.07.Courbe ombrothermique –station des salines«1980/2010»



**Fig.08.Courbe ombrothermique –station de séraïdi«1980/2010»**



**Fig.09.Courbe ombrothermique –station de Berrahel«1980/2010»**

D’après ces diagrammes, on remarque pour les trois stations, deux périodes distinctes : l’une sèche débute à la fin du mois d’Avril jusqu’au début du mois d’Octobre, l’autre humide commence à la fin du mois d’Octobre jusqu’au mois d’Avril.

### III-3- Le vent :

Il est l'un des éléments les plus déterminants des régimes pluviaux de l'évapotranspiration et par conséquent du climat de la région (tab : ).

MOIS	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
MOY	3,7	3,76	3,78	3,81	3,56	4,0	4,54	3,6	3,73	3,88	4,02	3,98

**Tab. n°06 : la vitesse moyenne mensuelle du vent en (m/s) pour la station des Salines. ( 2000-2010)**

D'après ce tableau en remarque la vitesse la plus forte du vent est marquée aux mois de Février et Mars , par contre la plus faible est marquée au mois de Septembre et Octobre.

### III-4- L'humidité :

L'humidité relative de l'aire montre l'état de l'atmosphère en expliquant s'il est plus ou moins proche de la condensation, elle correspond au rapport de la tension de vapeurs réelles observées à la tension de vapeur saturante à la même température (tab : ).

MOIS	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Moy	79,81	77,74	76,01	75,29	75,93	73,45	71,07	70,79	73,71	74,7	76,71	77,37

**Tab. n°07 : Les moyennes mensuelles de l'humidité relative à la station des Salines en (%)(1984-2010).**

On remarque que l'humidité maximale à la station des Salines est de l'ordre de 80% au mois de Janvier, par contre l'humidité minimale est de l'ordre de 70% au mois d'Août.

### III-Le bilan hydrique :

C'est l'étude qui permet d'évaluer la répartition entre les différentes composantes de bilan à savoir (l'évaporation, l'infiltration et l'écoulement ...). Pour estimer ce bilan, la méthode de THORNTHWITE est la plus adaptée dans les régions à climat semi-aride et le climat méditerranéen.

Il est calculé par la formule suivante :

$$P = R + E + I$$

Avec : P : précipitation moyenne mensuelle en (mm).

R : ruissellement de surface moyenne annuelle (mm).

E : évapotranspiration moyenne annuelle (mm).

I : infiltration moyenne (mm).

#### **IV-1- L'évapotranspiration :**

L'évapotranspiration est l'ensemble des phénomènes d'évaporation et de transpiration. Le principale facteur réagissent l'évaporation est la radiation solaire.

Le terme évapotranspiration englobe deux types :

##### **IV-1-1-L'évapotranspiration potentielle (ETP) :**

C'est la somme des quantités d'eau pouvant s'évaporer et transpirer sur une surface donnée, et pendant une période donnée. L'ETP calculée par la formule de THORNTHWAITE (1948), qui utilise la température de l'air et la latitude de la station. Elle est donnée par l'expression suivante :

$$ETP = 16 (10T/I)^a K$$

Avec : ETP : évapotranspiration potentielle du mois en (mm)

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

I : indice thermique annuelle qui représente la somme des indices mensuelle i

$$I = \sum_{i=1} i \quad \text{avec : } i = (t/5)^{1.5}$$

$$a = (1.6/100) I + 0.5$$

k: coefficient d'ajustement mensuelle lié à la latitude.

##### **IV-1-2-L'évapotranspiration réelle (ETR) :**

C'est la somme de l'évaporation et de la transpiration réelle pour une surface donnée et un période définie. L'ETR représente la quantité de vapeur effectivement exportée vers l'atmosphère par les sols et les végétaux.

La formule de Turc (1954) permet d'évaluer l'ETR annuelle à partir de la hauteur de la pluie et de la température moyenne mensuelle selon l'expression suivante :

$$ETR = P / (0.9 + P^2/L^2)^{1/2}$$

Avec :

ETR : évapotranspiration réelle en (mm).

P : précipitation moyenne annuelle en (mm).

L : pouvoir évaporant, est une limite vers laquelle tend l'ETR lorsque P devient grand.

$$L = 300 + 25t + 0.05t^3$$

t: température moyenne annuelle en (°C).

Les résultats de l'ETR pour les deux stations, calculée à partir de la formule de Turc, sont donnés dans le tableau (n°08).

Les stations	Précipitations moyennes annuelles (mm)	Températures moyennes annuelles (°C)	ETR (mm)
Les salines	800.6	17.9	<b>1013.41</b>
Séraidi	1221.8	15.2	<b>860.42</b>
Berrahel	715,7	18,0	<b>982.03</b>

**Tab. n° 08 : Déterminations des paramètres de l'évapotranspiration réelle.**

L'ETR est également calculée par la méthode du bilan hydrique mensuelle de Thornthwaite, qui consiste à l'application de la méthode de calcul de l'ETP. (Voir les tableaux du bilan hydrique n°09 et 10).

#### **IV-2- Le ruissellement (R):**

Le ruissellement de surface est la quantité d'eau, qui au cours d'une précipitation échappe à l'infiltration et l'évapotranspiration. L'évaluation de ruissellement dans le but est d'apprécier l'importance de l'érosion mécanique et chimique qui affecte la surface de la terre. Le coefficient du ruissellement (R) est calculé par la formule de TIXERONT BERKALOFF :

❖ Formule de TEXERON-BERKALOFF :

$$R = P^3/3 (ETP)^2$$

Avec :

**R** : ruissellement en (mm).

**P** : précipitations moyenne annuelles en (mm).

**ETP** : évapotranspiration potentielle annuelle en (mm).

Si :  $P < 600$  mm

❖ Formule de TEXERON-BERKALOFF modifiée par ROMANTCHOOK :

$$R = P^3/3$$

Si :  $P > 600$  mm

Comme on a dans les trois stations de mesure  $P > 600$  mm on applique la deuxième formule, dont les résultats sont consignés dans le tableau 09 :

Les stations	Précipitations moyennes annuelles (m)	Le ruissellement (m)
Les salines	0.80	0.17
Séraidi	1.22	0.60
Berrahel	0.71	0.11

**Tab. n°09 : Détermination des paramètres de ruissellement.**

#### **IV-3- L'infiltration :**

On utilise la formule générale du bilan hydrique :

$$P = R + I + ETR$$

Donc :

$$I = P - R - ETR$$

Avec : **R** : ruissellement en (mm).

**P** : précipitation moyenne annuelle en (mm).

**ETR** : évapotranspiration réelle en (mm).

I : infiltration en (mm).

Les stations	P(m)	R(m)	ETR(m)	I(m)
Les salines	0.80	0.17	1.01	-0.38
Séraïdi	1.22	0.60	0.86	-0.24
Berrahel	0.71	0.11	0.98	-0.38

**Tab. n°10 : Détermination des paramètres d' infiltration.**

#### **IV-4- Représentation graphique du bilan hydrique :**

L'estimation du bilan hydrique par la méthode de Thornthwaite prend en considération la RFU (réserve facilement utilisable) en fonction de la nature du sol et l'enracinement des plantes (tab.11). Les sols étant hétérogènes, la valeur de la RFU est estimée selon la formule de Hallaire qui s'écrit de la manière suivante :

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

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.

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

**Tab.n° 11 : Estimation de la RFU selon la formule de Hallaire**

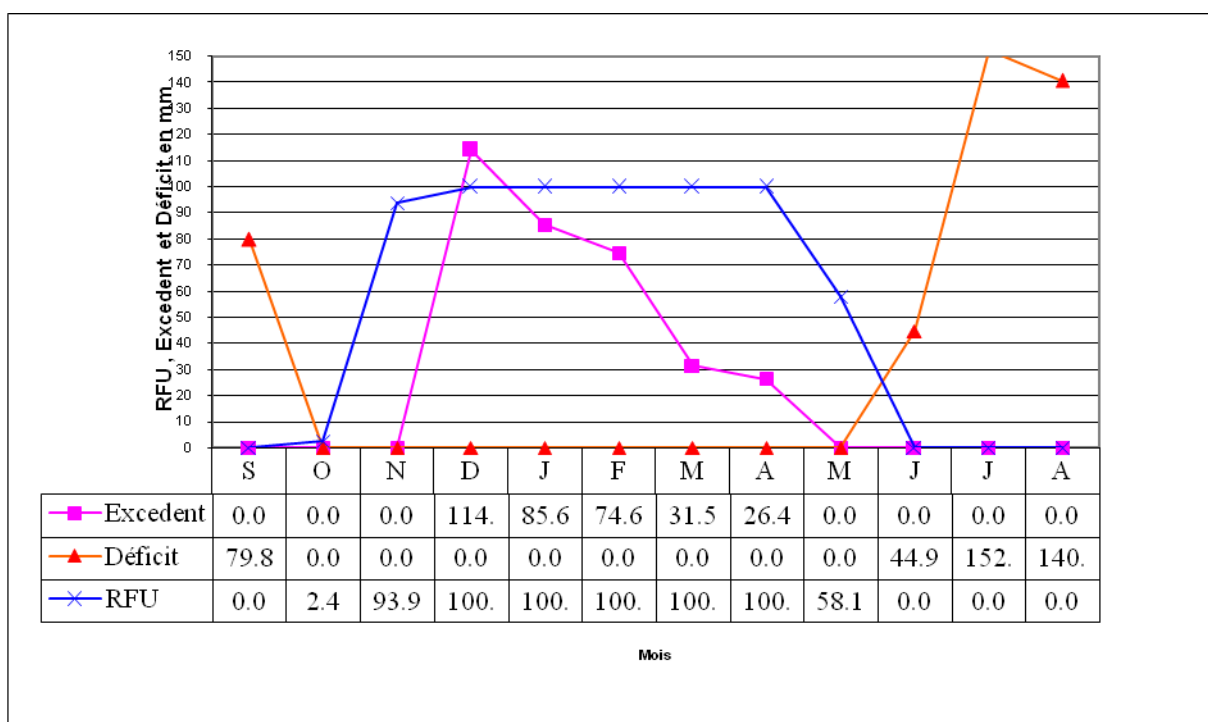
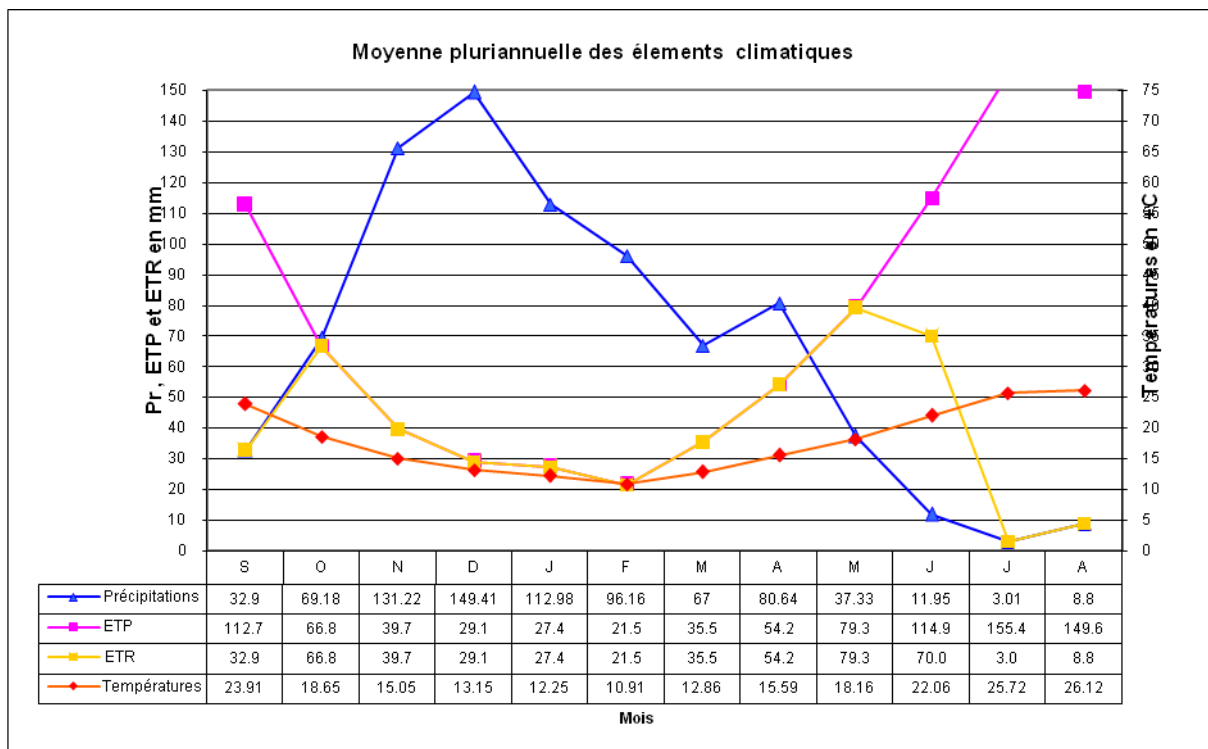
En fonction de la RFU calculée (100mm), les bilans des trois stations : Les Salines, Séraïdi et Berrahal (1980-2010) ont été établis (tab. 11, 12 et 13).

Les figures 10, 11 et 12 donnent la représentation graphique du bilan hydrique à partir de la méthode de Thornthwaite.

Mois	Tp	IT	CL	ETPC	Pr	BH	CH	VR	RU	ETPR	Def	Exc
S	23,91	10,7	1,03	112,7	32,9	-79,8	-0,7	0,0	0,0	32,9	79,8	0,0
O	18,65	7,3	0,97	66,8	69,18	2,4	0,0	2,4	2,4	66,8	0,0	0,0
N	15,05	5,3	0,86	39,7	131,22	91,5	2,3	91,5	93,9	39,7	0,0	0,0
D	13,15	4,3	0,81	29,1	149,41	120,3	4,1	6,1	100,0	29,1	0,0	114,2
J	12,25	3,9	0,87	27,4	112,98	85,6	3,1	0,0	100,0	27,4	0,0	85,6
F	10,91	3,3	0,85	21,5	96,16	74,6	3,5	0,0	100,0	21,5	0,0	74,6
M	12,86	4,2	1,03	35,5	67	31,5	0,9	0,0	100,0	35,5	0,0	31,5
A	15,59	5,6	1,10	54,2	80,64	26,4	0,5	0,0	100,0	54,2	0,0	26,4
M	18,16	7,0	1,21	79,3	37,33	-41,9	-0,5	-41,9	58,1	79,3	0,0	0,0
J	22,06	9,5	1,22	114,9	11,95	-102,9	-0,9	-58,1	0,0	70,0	44,9	0,0
J	25,72	11,9	1,24	155,4	3,01	-152,4	-1,0	0,0	0,0	3,0	152,4	0,0
A	26,12	12,2	1,16	149,6	8,8	-140,8	-0,9	0,0	0,0	8,8	140,8	0,0
Annuel	17,9	85,2		886,0	800,6	-85,5				468,2	417,9	332,4

**Tab. n°12 : Bilan hydrique pour la station des Salines**

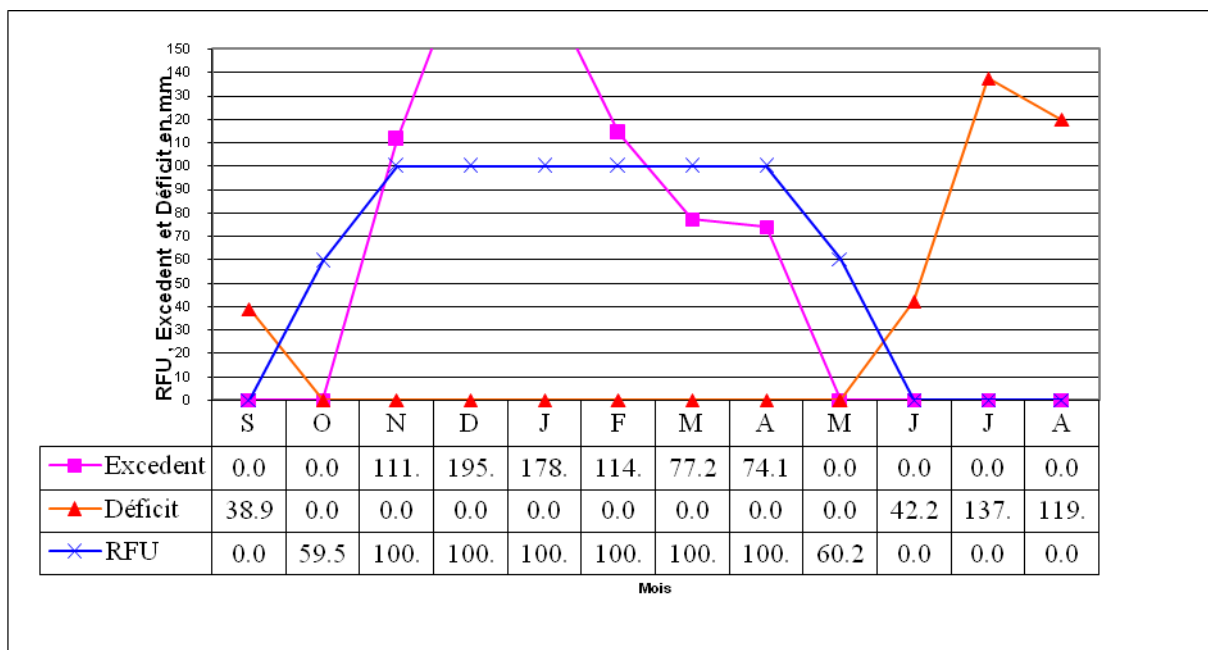
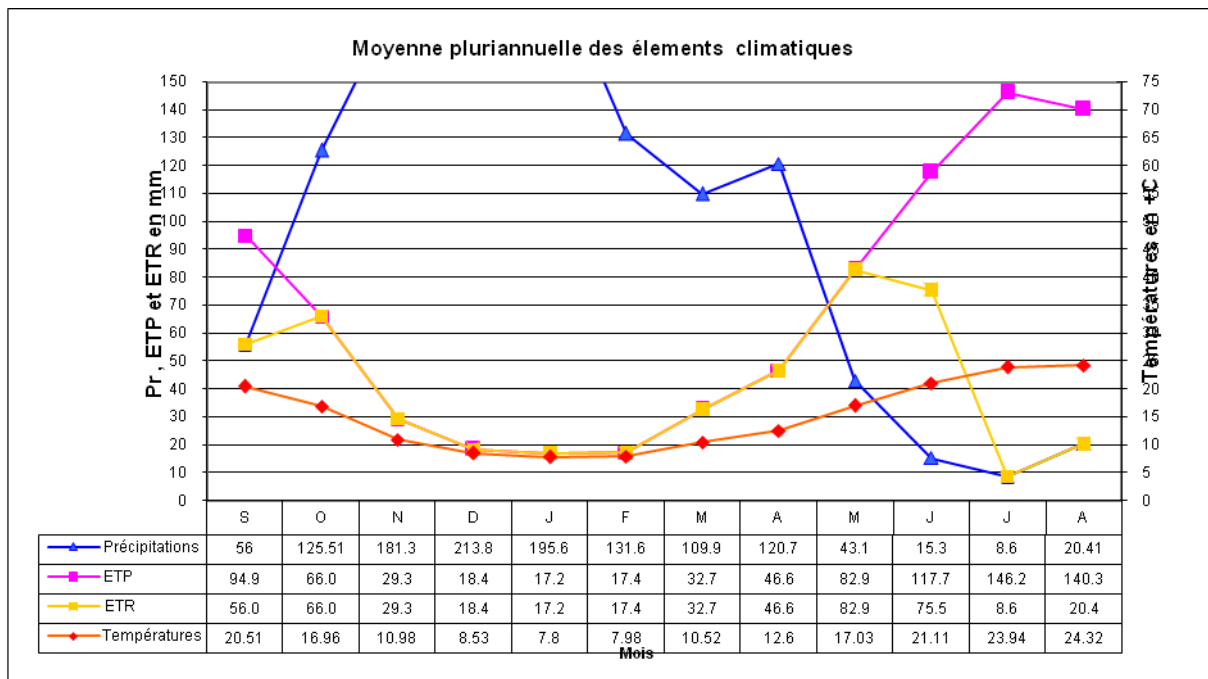




**Fig.10 : Représentation graphique du bilan d'eau (en mm) selon la méthode de Thornthwaite pour la station des Salines «1980-2010».**

Mois	Tp	IT	CL	ETPC	Pr	BH	CH	VR	RU	ETPR	Def	Exc
S	20,51	8,5	1,03	94,9	56	-38,9	-0,4	0,0	0,0	56,0	38,9	0,0
O	16,96	6,4	0,97	66,0	125,51	59,5	0,9	59,5	59,5	66,0	0,0	0,0
N	10,98	3,3	0,86	29,3	181,3	152,0	5,2	40,5	100,0	29,3	0,0	111,5
D	8,53	2,2	0,81	18,4	213,8	195,4	10,6	0,0	100,0	18,4	0,0	195,4
J	7,8	2,0	0,87	17,2	195,6	178,4	10,4	0,0	100,0	17,2	0,0	178,4
F	7,98	2,0	0,85	17,4	131,6	114,2	6,6	0,0	100,0	17,4	0,0	114,2
M	10,52	3,1	1,03	32,7	109,9	77,2	2,4	0,0	100,0	32,7	0,0	77,2
A	12,6	4,1	1,10	46,6	120,7	74,1	1,6	0,0	100,0	46,6	0,0	74,1
M	17,03	6,4	1,21	82,9	43,1	-39,8	-0,5	-39,8	60,2	82,9	0,0	0,0
J	21,11	8,9	1,22	117,7	15,3	-102,4	-0,9	-60,2	0,0	75,5	42,2	0,0
J	23,94	10,7	1,24	146,2	8,6	-137,6	-0,9	0,0	0,0	8,6	137,6	0,0
A	24,32	11,0	1,16	140,3	20,41	-119,8	-0,9	0,0	0,0	20,4	119,8	0,0
Annuel	15,2	68,4		809,5	1221,8	412,3				471,0	338,6	750,8

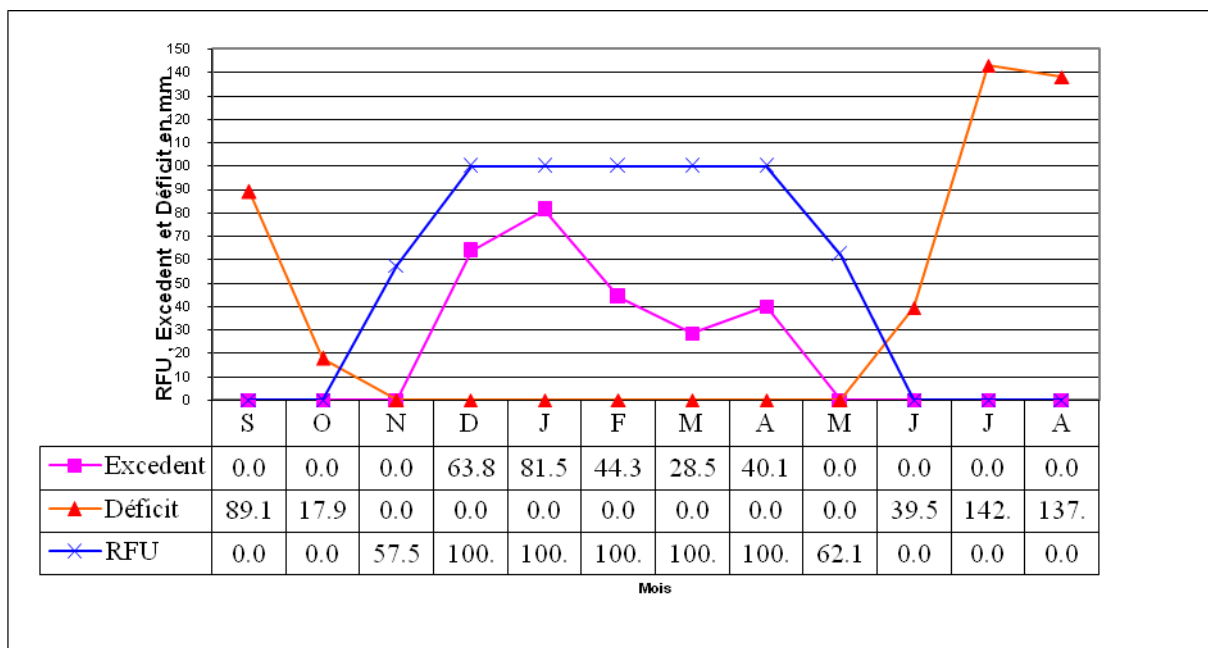
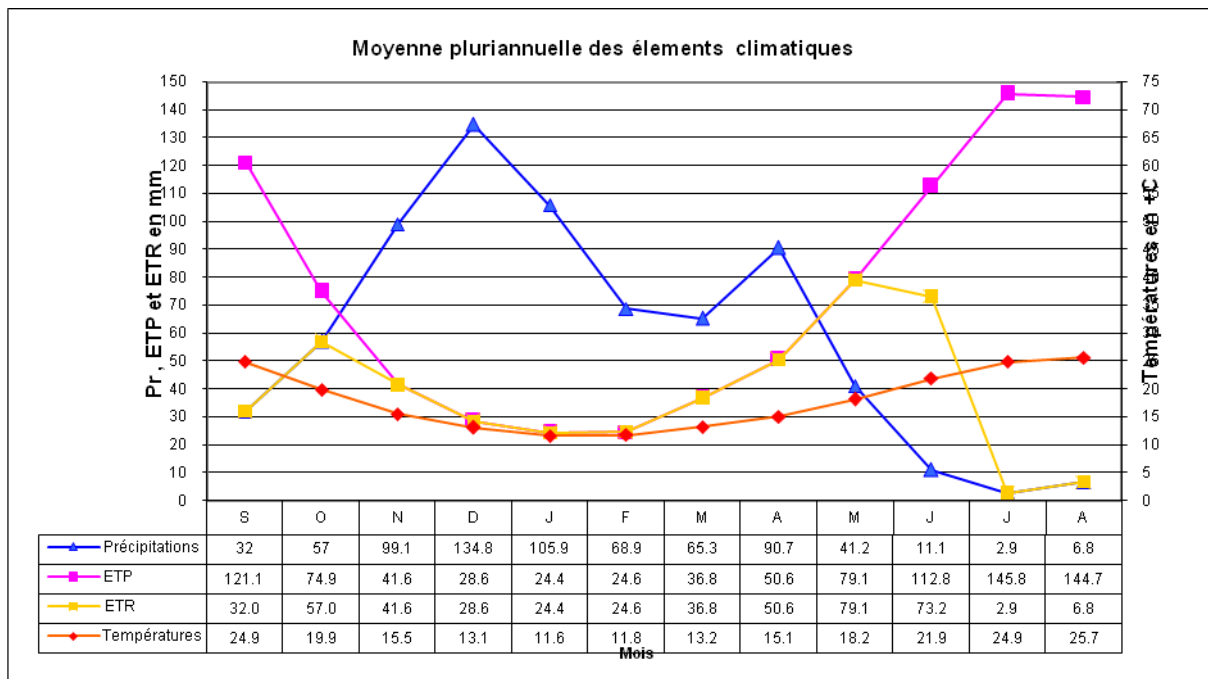
**Tab. n° 13: Bilan hydrique pour la station de Séraïdi.**



**Fig. 11 : Représentation graphique du bilan d'eau (en mm) selon la méthode de Thornthwaite pour la station de Séraïdi «1980-2010»**

	<b>Tp</b>	<b>IT</b>	<b>CL</b>	<b>ETPC</b>	<b>Pr</b>	<b>BH</b>	<b>CH</b>	<b>VR</b>	<b>RU</b>	<b>ETPR</b>	<b>Def</b>	<b>Exc</b>
<b>S</b>	24,9	11,4	1,03	121,1	32	-89,1	-0,7	0,0	0,0	32,0	89,1	0,0
<b>O</b>	19,9	8,1	0,97	74,9	57	-17,9	-0,2	0,0	0,0	57,0	17,9	0,0
<b>N</b>	15,5	5,5	0,86	41,6	99,1	57,5	1,4	57,5	57,5	41,6	0,0	0,0
<b>D</b>	13,1	4,3	0,81	28,6	134,8	106,2	3,7	42,5	100,0	28,6	0,0	63,8
<b>J</b>	11,6	3,6	0,87	24,4	105,9	81,5	3,3	0,0	100,0	24,4	0,0	81,5
<b>F</b>	11,8	3,7	0,85	24,6	68,9	44,3	1,8	0,0	100,0	24,6	0,0	44,3
<b>M</b>	13,2	4,3	1,03	36,8	65,3	28,5	0,8	0,0	100,0	36,8	0,0	28,5
<b>A</b>	15,1	5,3	1,10	50,6	90,7	40,1	0,8	0,0	100,0	50,6	0,0	40,1
<b>M</b>	18,2	7,1	1,21	79,1	41,2	-37,9	-0,5	-37,9	62,1	79,1	0,0	0,0
<b>J</b>	21,9	9,4	1,22	112,8	11,1	-101,7	-0,9	-62,1	0,0	73,2	39,5	0,0
<b>J</b>	24,9	11,4	1,24	145,8	2,9	-142,9	-1,0	0,0	0,0	2,9	142,9	0,0
<b>A</b>	25,7	11,9	1,16	144,7	6,8	-137,9	-1,0	0,0	0,0	6,8	137,9	0,0
<b>Annuel</b>	<b>18,0</b>	<b>85,9</b>		<b>885,1</b>	<b>715,7</b>	<b>-169,4</b>				<b>457,7</b>	<b>427,4</b>	<b>258,0</b>

**Tab. n° 14: Bilan hydrique pour la station de Berrahal.**



**Fig. 12 : Représentation graphique du bilan d'eau (en mm) selon la méthode de Thornthwaite pour la station de Berrahal «1980-2010»**

#### **IV-5- Interprétation du bilan hydrique :**

Les figures 10, 11 et 12 présentent les graphiques du bilan hydrique (méthode de Thornthwaite) qui illustre les résultats des tableaux 11, 12 et 13 pour les stations (les salines, Séraïdi et Berrahal).

D'après ces résultats on remarque les observations suivantes :

- ❖ On remarque que : Si la réserve facilement utilisable (RFU) est totale il y a un surplus d'eau accompagné par un ruissellement, et quand elle commence à diminuer il y a un épuisement du stock au point que la RFU=0 il aura un déficit agricole au début du mois de Juin jusqu'à la fin du mois de Septembre.
- ❖ L'évapotranspiration potentielle (ETP) dans les trois stations (les Salines, Séraïdi et Berrahal) atteint son maximum au mois de Juillet avec 155.4 mm, 146.2 mm, et 145.8 mm et un minimum de 21.5 mm, 17.2 mm et 24.4 mm au mois de Février et Janvier successivement pour les trois stations.
- ❖ L'ETP totale pour les trois stations est de l'ordre de 886.0 mm (Les Salines), 809.5mm (Séraïdi) et (805.1mm) Berrahal.
- ❖ L'écoulement commence après le remplissage de la RFU (100mm) dès le début du mois d'Octobre jusqu'à la fin du mois de Mai, avec un maximum au mois de Décembre et Janvier où l'excédent est de 114.2 mm (Salines), 195.4 mm (Séraïdi) et 81.5mm (Berrahal).
- ❖ L'excédent annuel est de l'ordre de 332.4 mm pour la station des Salines, 750.8mm pour la station de Séraïdi et 258.0mm pour la station de Berrahal.

#### **Conclusion :**

L'étude hydroclimatologique nous a permis de déterminer que la zone d'étude est caractérisée par un climat de type méditerranéen avec deux saisons l'une pluvieuse et humide allant de la fin du mois d'Octobre jusqu'au mois d'Avril, l'autre de sèche et chaude allant de la fin du mois d'Avril jusqu'au début du mois d'Octobre.

La formule du bilan de Thornthwaite, permet l'estimation de l'ETR qui montre qu'une grande partie des précipitations est reprise par l'évapotranspiration ETR (468.2 mm pour les Salines, 471.0 mm pour Séraïdi et 982.03 mm pour Berrahal).

En conséquence malgré que la région soit bien arrosée par rapport au reste du pays, on observe un déficit agricole dès lors que la recharge interannuelle reste insuffisante. Cependant en période humide on a remarqué que les averses sont soudaines et fortes mais qu'elles durent peu de temps alimentant moyennement les capacités de rétention des eaux de pluie.

# *2eme partie*

## **CHAPITRE 3 : CONTEXTES GÉOMORPHOLOGIQUE ET GÉOLOGIQUE**



## **I-Cadre Géomorphologique :**

Trois formes morphologiques sont présentes dans la région d'étude (fig. 13):

1. Les montagnes;
2. Les plaines;
3. la dépression de Fetzara.

### **I-1- Les montagnes :**

#### **I-1-1 L'Edough :**

Au contact brutal de la plaine d'Annaba et la mer s'élève l'entité cristallophyllienne du massif de l'Edough témoin des événements géologiques et tectoniques complexes. La masse principale de ce massif qui a l'allure d'un dôme anticlinal est limitée au sud ouest par la dépression du lac Fetzara, à l'est par la plaine d'Annaba et au nord par la mer.

La ligne de crête longue et relativement rectiligne suit une direction sud-ouest, nord-est en débutant de la bordure du lac Fetzara au sud-ouest, s'élève rapidement à plus de 600 m à koudiet EI Rohna, atteint 1008 m à Kef Sbaa (point culminant) puis s'abaisse régulièrement pour s'achever par la presqu'île du cap de garde.

Les principaux versants du massif de l'Edough sont assez dissymétriques: le versant nord - ouest profondément entaillé par de nombreux oueds descend progressivement après une série de crêtes étagées en direction du nord jusqu'à la mer où se forme le promontoire rocheux de la Voile Noire et du Pain de Sucre.

Le versant sud-ouest dont les lignes orographiques sont encore moins brutales s'abaisse lentement jusqu'à l'oued Aneb.

Par contre le versant sud-est est beaucoup plus raide; sur une distance approximative de 3.5 km entre Séraïdi et la vallée de l'oued Oureida on a une dénivelée de 800 m.

D'autre part au sud-est, deux chaînons parallèles séparés par la plaine des Kherazas viennent se greffer au Djebel Edough.

Le massif de Boukantas dont le point culminant est à 586 m se prolonge par le Kef N' Sour et les trois mamelons de la ferme Duzer jusqu'à la butte témoin du cimetière israélite.

Le Djebel Bellileita (288 m) que termine le massif de Bouharnra jusqu'à la butte de la basilique Saint Augustin.

#### **I-1-2- Le Tell Nord Guelmien :**

Limitant les plaines sublittorales au sud, le Tell nord Guelmien est caractérisé par une allure dissymétrique. Le versant nord présente une altitude modeste et descend lentement vers la

dépression du lac Fetzara ou naissent une série de glacis quaternaire étagés et emboîtés (A.Marre, 1987). Tandis que le versant sud est caractérisé par de fortes pentes et une ligne de crête qui constitue une ligne de partage des eaux de part et d'autre pour les affluents de l'oued Seybouse au sud et l'oued Kebir Ouest au nord.

### **I-2-la dépression de Fetzara :**

La dépression de lac Fetzara est séparée de la plaine de Guerbes par les petits massifs de Bou Maiza et Berrahel, Tous deux forment un arc de cercle qui sépare le massif de l'Edough du Tell nord Guelmien. La bordure nord correspond à la retombée du massif de l'Edough et Belilieta.

Le lac est couvert de jonc et de phragmite. Son fond est formé par de limon qui reposent sur une argile compacte par l'intermédiaire d'une argile molle d'une épaisseur allant de 0 à 40 m.

### **I-3- Le domaine des plaines :**

**I-3-1- La plaine de Annaba :** C'est la plaine drainée par les deux oueds la Seybouse au sud et Bounamoussa au nord, elle se situe au centre d'un synclinaurium limité par le massif de l'Edough au nord et la chaîne numidienne au sud. On y distingue trois secteurs:

- La basse plaine dans laquelle s'encaisse l'oued Seybouse, dans les bordures on peut observer les glacis et le littoral où quelques formations quaternaires sont visibles.
- Dans la partie inclinée et légèrement bombée où la Seybouse entaille son lit, on constate deux terrasses, la basse terrasse sablo-limoneuse qui constitue le niveau général de la plaine de Annaba et la très basse terrasse qui existe seulement dans la région de Dréan.
- La basse terrasse sableuse de l'oued Seybouse, dont l'altitude est de 5 à 6 m vient butter contre un cordon dunaire de sable blanc et haut d'environ 10 m qui naît derrière le port. A l'est et à l'ouest cette basse terrasse disparaît pour laisser place à des dépressions de 2 m d'altitude et aux formations argileuses noires et hydro morphes (marais de Boukhmira près de l'aéroport Annaba –les salines).

**I-3-2- La plaine d'El Hadjar :** elle présente une forme inclinée vers la mer et occupe la partie est du fond de la cuvette du lac Fetzara et se prolonge par la plaine de Annaba. La liaison entre le lac et la plaine d'El Hadjar se fait par l'oued Meboudja.

**I-3-3-La plaine de Kherraza :** Elle possède une forme lenticulaire longitudinale, limitée au Sud par les massifs métamorphiques de Belilieta et de Bouhamra, au Nord par le massif de l'Edough. Son prolongement Est porte le nom de la plaine ouest de la ville de Annaba. La caractéristique principale de cette plaine est la présence de zones inondables pendant la période des hautes eaux. On y dénombre quatre sous bassins versants: le sous bassin de l'Oued Bouhdid (superficie de 2182 ha), le sous bassin de l'Oued Sidi Harb, (875 ha de

superficie), sous bassin de l'Oued Forcha (712 ha de superficie) et le sous bassin de l'Oued Bou Djamaa avec une superficie de 4685 ha.

#### I-4- Les plages

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

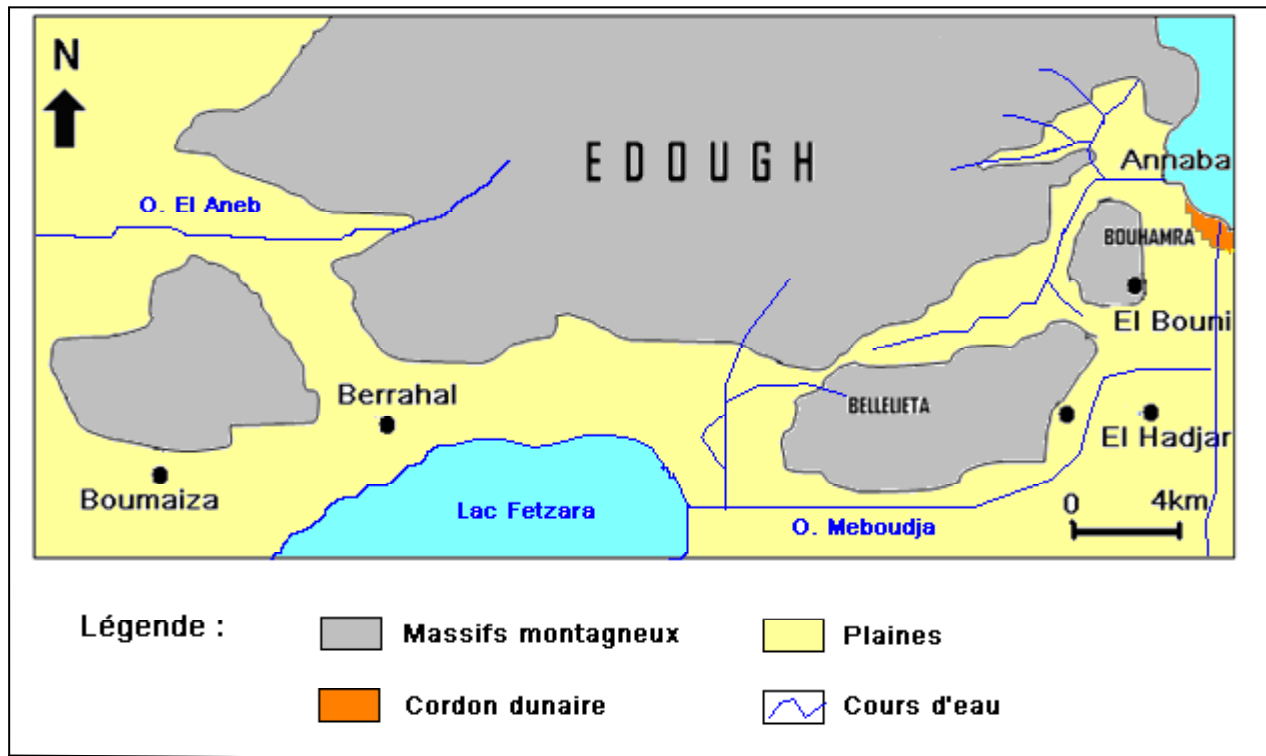


Fig.13. Carte géomorphologique de la région étudiée

#### II- Cadre géologique :

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

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

## **II-1- Stratigraphie :**

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

### **II-1-1- Formations sédimentaires :**

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

#### **II-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 :

##### **II-1-1-1-1- Le Quaternaire actuel :**

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

##### **II-1-1-1-2- Le Quaternaire récent :**

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

##### **II-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.

##### **II-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).

#### **II-1-1-2- Le Tertiaire :**

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

##### **II-1-1-2-1- Le Mio-Pliocène :**

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

### **II-1-1-2-2- L'Oligocène :**

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

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

Série transgressive formée de calcaires massifs à faciès épinéritique.

### **II-1-1-3- Le Secondaire :**

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

#### **II-1-1-3-1- La chaîne de Calcaires :**

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

#### **II-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 en deux types :

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

### **II-1-2- Formations métamorphiques :**

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

#### **II-1-2-1- L'unité supérieure :**

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

- 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.

### **II-1-2-2- L'unité intermédiaire :**

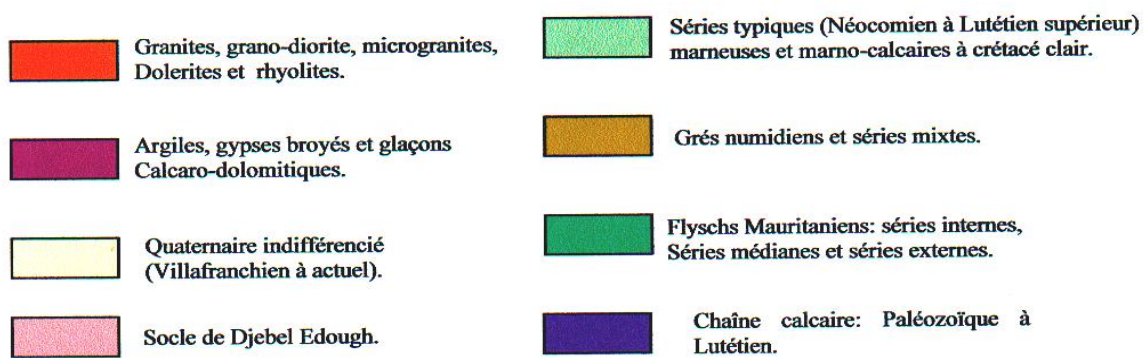
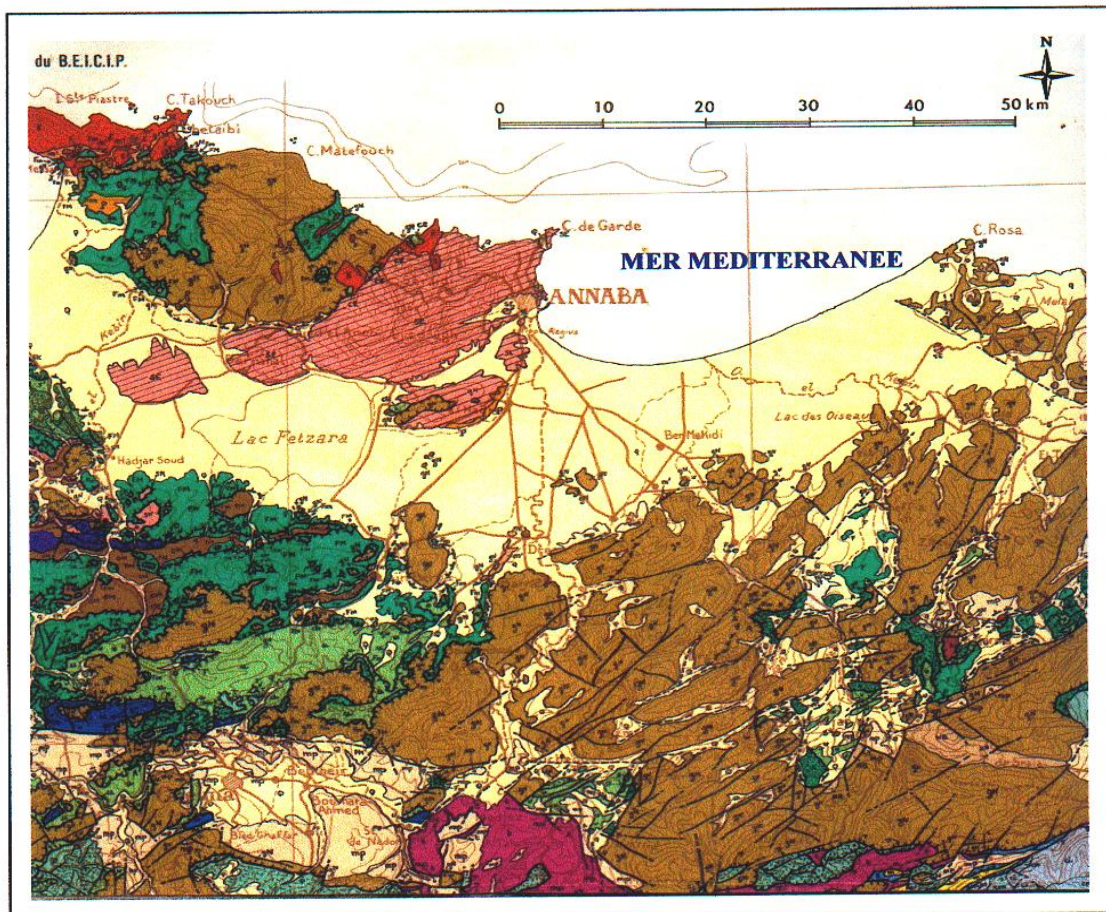
Affleure dans la zone périphérique de l'Edough, elle est constituée par des schistes, des micaschistes riches en Biotite et Muscovite et de Grenats, parfois avec des Feldspaths souvent visibles à l'œil nu.

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.

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

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

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



**Fig.14.Extrait de la carte géologique de l'extrême Nord-Est Algérien  
(D'après J.M.VILA 1978)**

## **II-2- Tectonique :**

### **II-2-1- Les unités tectoniques :**

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

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

#### **II-2-1-1- Le cristallin de l'Edough :**

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

#### **II-2-1-2- Série de flyschs d'âge Eocène :**

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

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

#### **II-2-1-3- Mio-Pliocène :**

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

#### **II-2-1-4- Quaternaire :**

Forme la couverture la plus récente sur les unités précédentes.

### **II-2-2- Effondrement de la plaine de Annaba :**

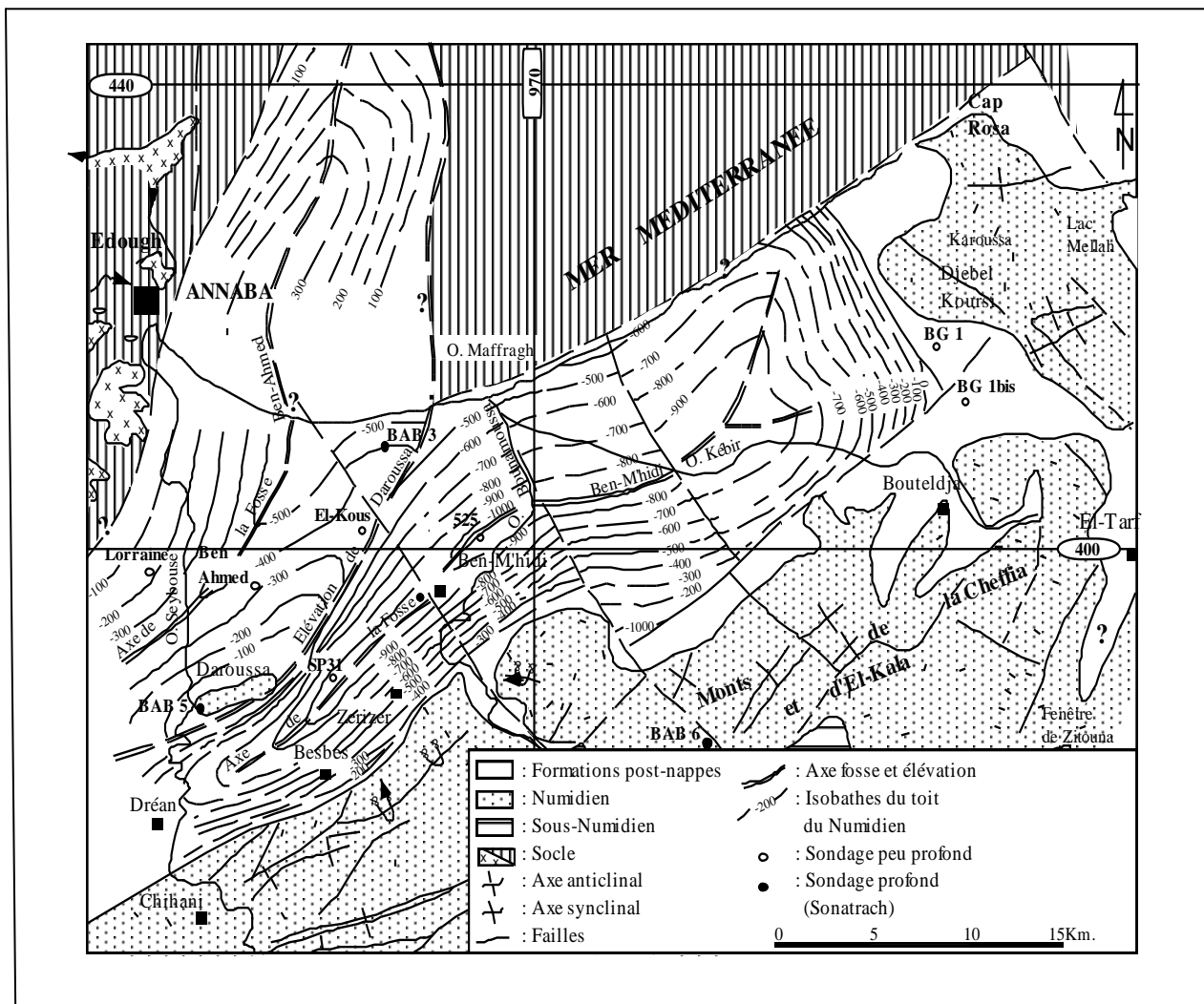
L'effondrement de la plaine de Annaba avait lieu durant le Néogène (Miocène inférieur), l'ensemble de la région a été soumis à des phénomènes orogéniques ayant pour conséquences, la naissance des plis numidiens et l'isolement complet du massif de l'Edough.

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

Une étude géophysique réalisée sur la plaine de Annaba, par SONATRACH (1969) et STRJEXPORT (1975) ont mis en évidence un effondrement au niveau du remplissage Mio-Pliocène formant deux fosses séparées par la butte de Daroussa : celle de BenAhmed d'orientation NS sous la plaine de Seybouse et celle de Ben Mhidi d'orientation SSW-NNE à WSW-ENE sous de L'oued Kébir et le massif dunaire de Bouteldja.

Ces deux fosses sont limitées par des failles à très fort pendage (60 à 80°) de direction NE-SW et NW-SE (fig.15).





**Fig. 15.** Esquisse structurale des plaines de Annaba-Bouteldja (Sonatrach, 1969 in Hani, 2003, modifiée).

### 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.

## **CHAPITRE 4 : CONDITIONS HYDROGÉOLOGIQUES**

## **I -Introduction :**

L'étude hydrogéologique permet la mise en relief des processus d'alimentation des aquifères, les échanges souterraines (écoulement, transfert de polluant,...) la reconstitution des eaux souterraines, la détermination du sens d'écoulement, la variation du gradient hydraulique et les caractéristiques hydrodynamique comme la perméabilité [k], la transmissivité [T], le coefficient d'emmagasinement [S].

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

- Aquifère superficiel.
- Aquifère profond.

## **I-2- Description des différents aquifères :**

### **I-2-1- Aquifère superficiel :**

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

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

#### **I-2-1-1- Nappe des gneiss altérés :**

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

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

### **I-2-1-2- La nappe du cordon dunaire :**

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

### **I-2-1-3- La nappe des cailloutis des terrasses :**

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

### **I-2-1-4- La nappe des alluvions récentes et actuelles :**

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

## **I-2-2- Aquifère profond :**

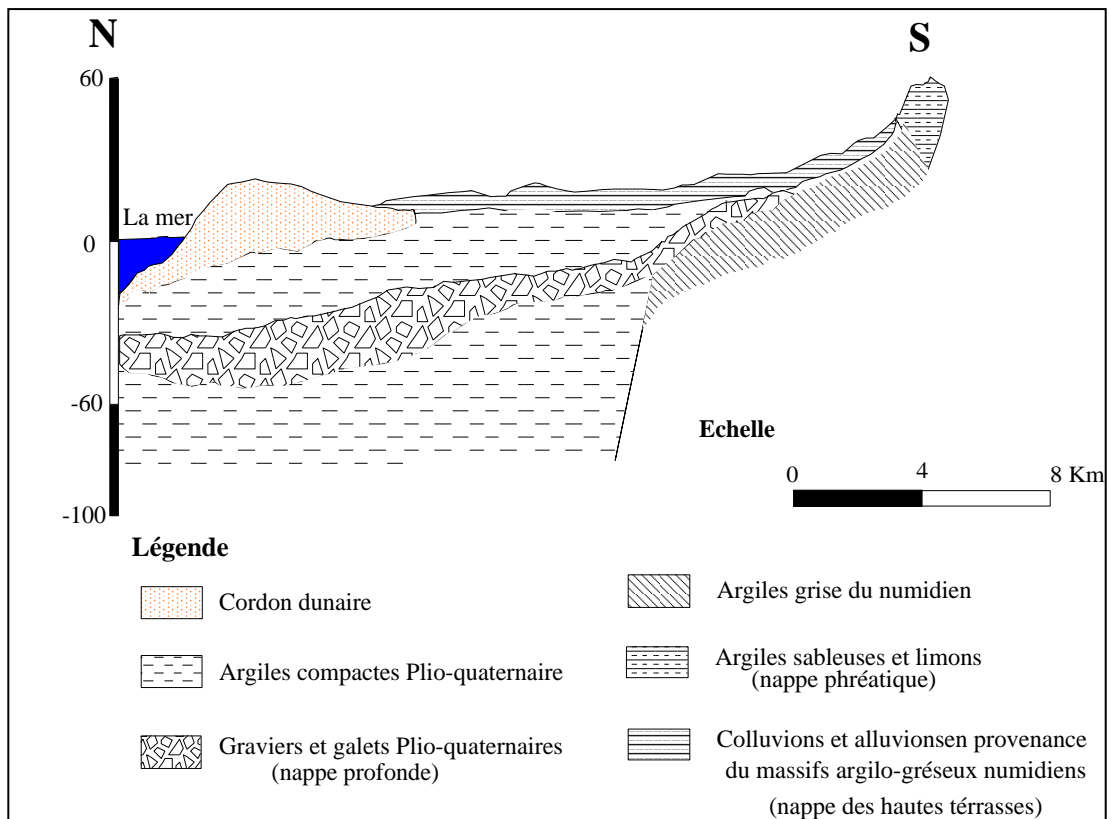
Généralement, on note deux nappes d'importances inégales : nappe des cipolins et nappe des graviers.

### **I-2-2-1- La nappe des cipolins :**

Elle est localisée au Nord-Ouest dans les massifs métamorphiques de Bouhamra et de Bellielita et contenue dans les cipolins fissurés. Sa profondeur varie de 12 à 80 mètres. Ses forages ont des débits d'exploitation d'ordre de 15 l/s avec une transmissivité comprise entre  $5.10^{-5}$  et  $10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s.

### **I-2-2-2- La nappe des graviers :**

Elle se trouve au dessous de l'aquifère superficiel s'étendant sur toute la superficie de la plaine ; captive dans sa presque totalité et devient libre en bordure Sud Sud-ouest quand les graviers affleurent en surface. Elle est contenue au sein des graviers, des sables et des galets plio-quadernaires. Son épaisseur ne dépasse pas les 70 mètres. La transmissivité est de  $3,5.10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s et le coefficient d'emmagasinement (S) est parfois très faible de l'ordre de  $10^{-4}$  où la nappe est captive et atteint  $10^{-2}$  dans les zones où elle est libre.



**Fig.16 .**Coupe géologique montrant les différentes nappes de la plaine d'Annaba (D'après

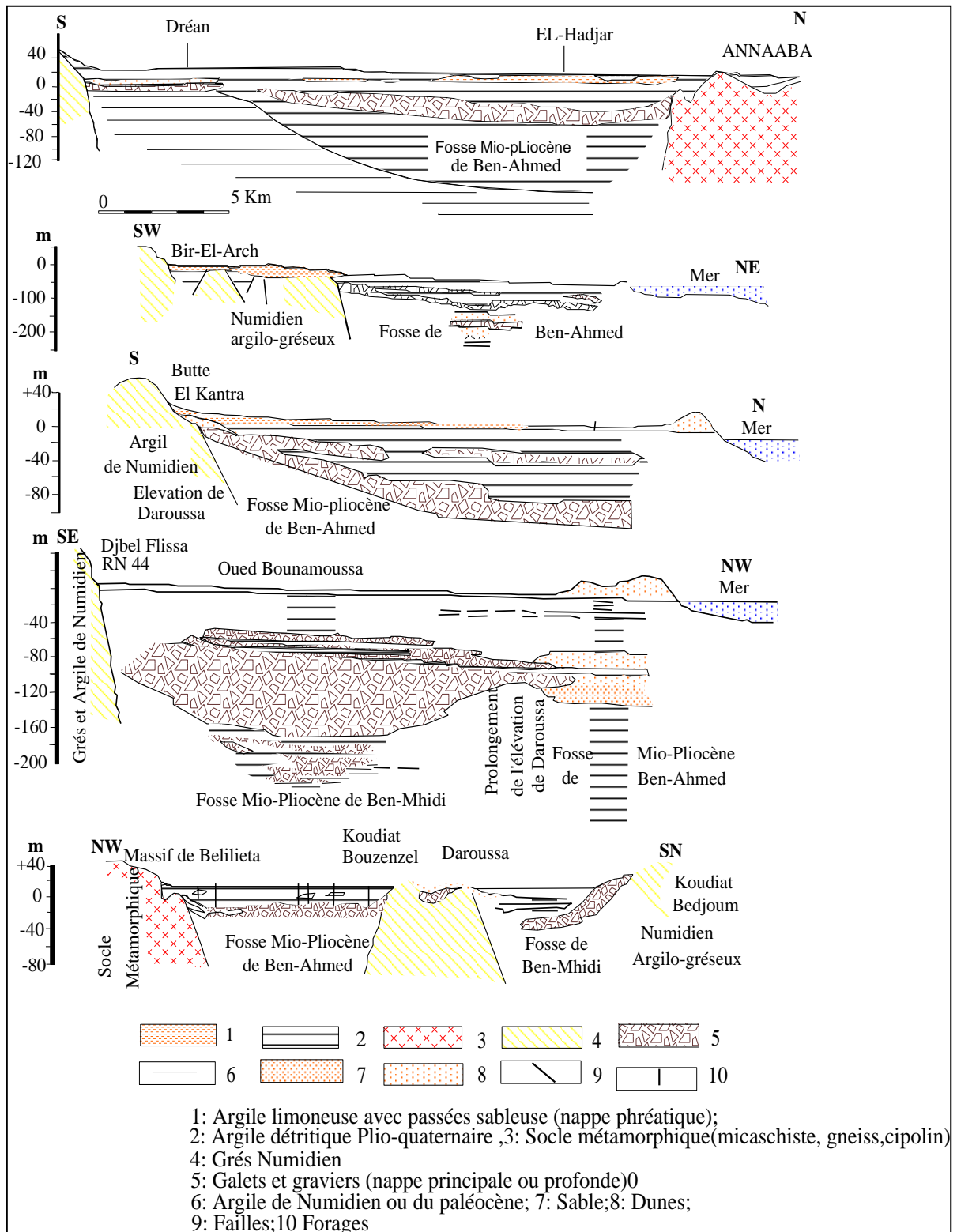


Fig. 17. Coupes au travers la plaine d'Annaba (ANRH, 1976, in Hani 2003, modifiée).

Aquifères	Transmissivité (m <sup>2</sup> /s)	Perméabilité (m/s)	Coefficient d'emmagasinement
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>

**Tab.15.** Paramètres hydrodynamiques des aquifères de la plaine d'Annaba

### **I-3- La piézométrie :**

#### **I-3-1- Etablissement de la carte piézométrique :**

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

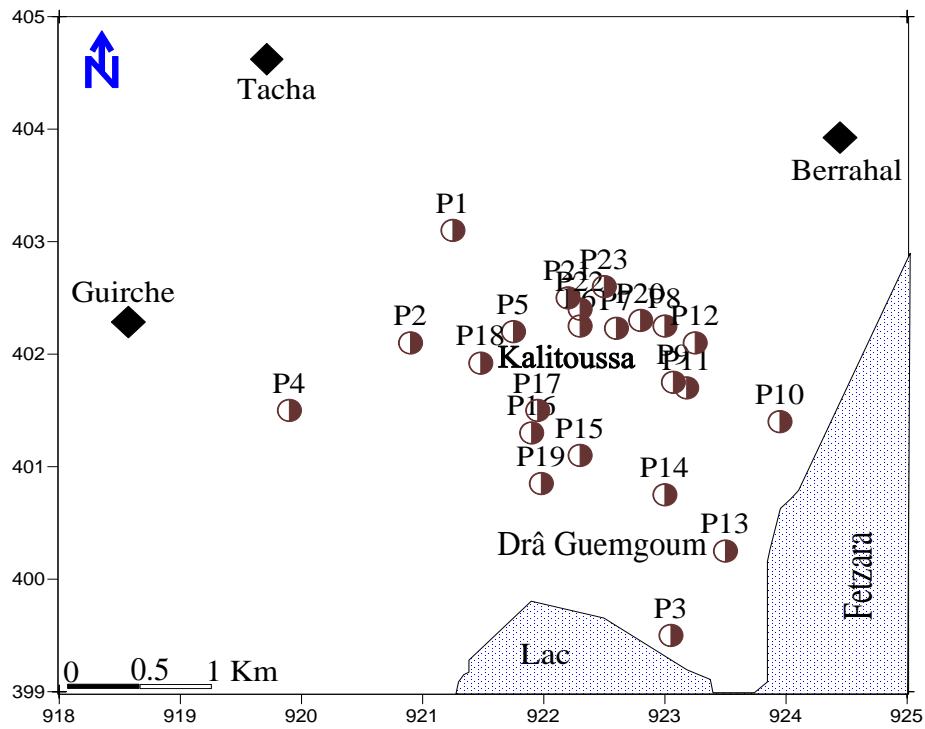
Dans la zone d'étude s'individualisent deux secteurs:

- La zone industrielle de Berrahal en contact avec le lac Fetzara.
- La plaine de kharreza soumise à l'influence urbaine et industrielle

#### **I-3-1-1- La zone industrielle de Berrahal :**

A partir des observations et des levées piézométriques faites sur le terrain nous avons établi la carte d'inventaire des puits captant la nappe superficielle (fig.18).

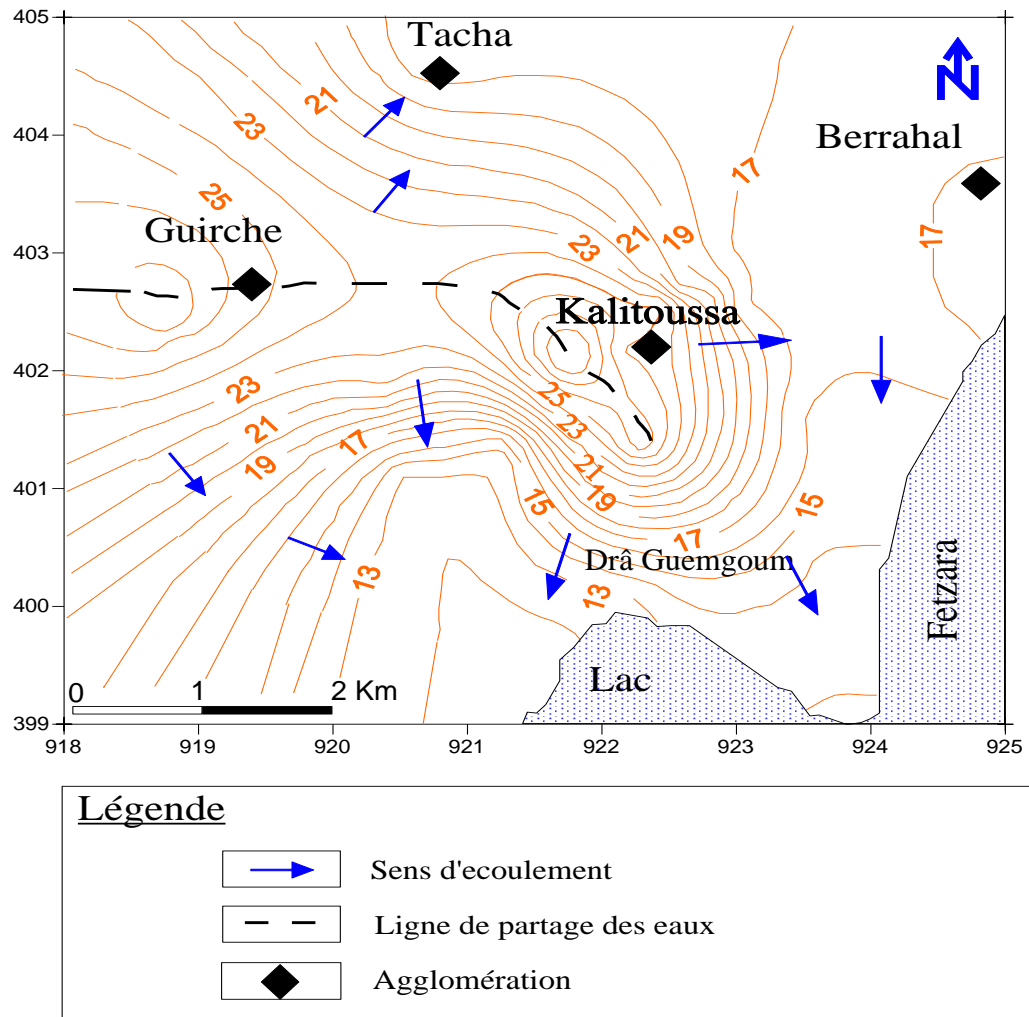




**Fig. 18.** Carte d'inventaire des points d'eaux dans la région de Berrahal

### **I-3-1-2- Interprétation de la carte piézométrique :**

Les mesures piézométriques réalisées au mois de Mai 2011 (hautes eaux) ont permis d'élaborer la carte piézométrique (Fig. 19).



**Fig. 19. Carte piézométrique de la zone de Berrahal (Mai 2011)**

L'interprétation de la carte réalisée montre que le sens global de l'écoulement des eaux souterraines aboutit à l'alimentation du lac Fetzara au Sud et au Sud Est et à un degré moindre au Nord.

L'allure générale des courbes isopièzes montre que la nappe suit le modèle topographique. La morphologie de la surface piézométrique montre des zones d'alimentation au Nord-Est (massif de l'Edough) et à l'Ouest de la plaine (Ouest de Guirche). Une ligne de partage des eaux s'individualise sur la piézométrie, elle s'étend de l'Ouest de Guirche jusqu'au Sud-Est de Kalitoussa.

Le sens d'écoulement des eaux souterraines se fait :

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

dépression qui se dessine au niveau de Douar Tacha.

### **I-3-1-3- La plaine de Kharéza :**

Ce secteur comprend la plaine de Kherraza proprement dite (traversée par l'oued Boudjemaa) et la plaine ouest de la ville de Annaba (tributaire des oueds Sidi Harb, Bouhdid et Forcha).

D'après la coupe hydrogéologique (Fig. 20), deux types de nappes caractérisent la région d'étude.

#### **II -1- La nappe phréatique :**

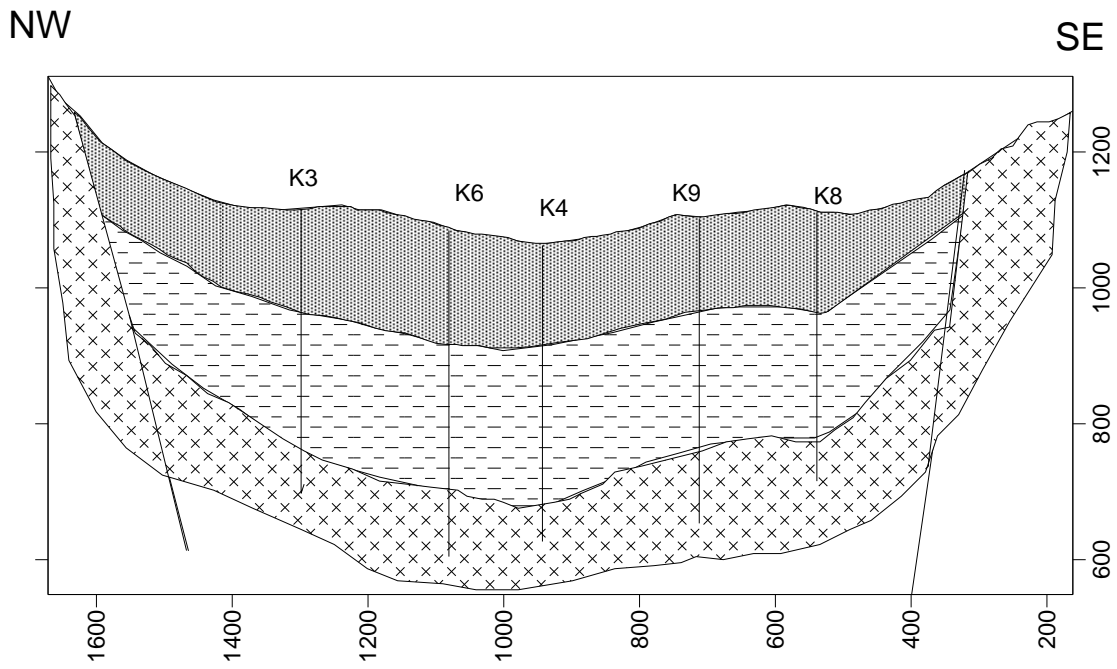
Elle couvre la majorité de la plaine de kherraza. Elle s'étend sur tout le système alluvionnaire de l'oued Boujema. Elle est contenue dans les alluvions récentes et actuelles à formation sableuse, son épaisseur est de 10 m environ ; la surface de l'eau de cette nappe varie en fonction des précipitations, des pompages et du retour d'irrigation.

#### **II -2- La nappe profonde :**

La profondeur de la majorité des forages exécutés dans la région va jusqu'à une profondeur maximum. Cette nappe est captée, elle est surmontée par une couche argileuse dont l'épaisseur varie de 15 à 25 m.

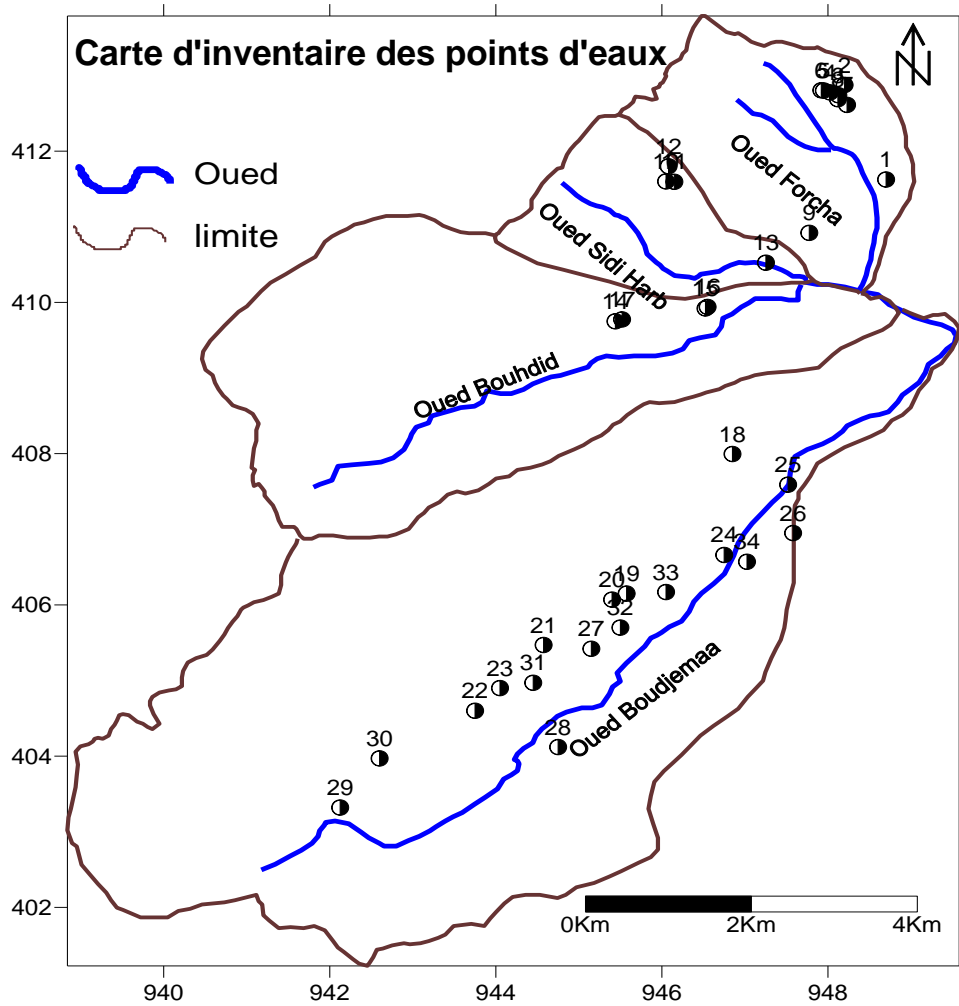
De point de vue lithologique cette nappe est constituée d'une part par des formations conglomératique et graveleuse résultant de l'altération des formations métamorphiques, d'autre part de cipolin et gneiss fortement fissurés.

La plupart des forages captant cette nappe sont artésiens. L'artisanisme de cette nappe peut être expliqué par une alimentation à partir des massif de l'Édough et de Bellelieta situé respectivement au Nord et au Sud de la plaine de kherraza, qui présente un réseau de faille (Kiniouar, 2006), à l'origine d'une fissuration pouvant favorisée l'infiltration des eaux superficielles.



**Fig.20. Carte hydrogéologique schématique de la plaine de Kherraza**

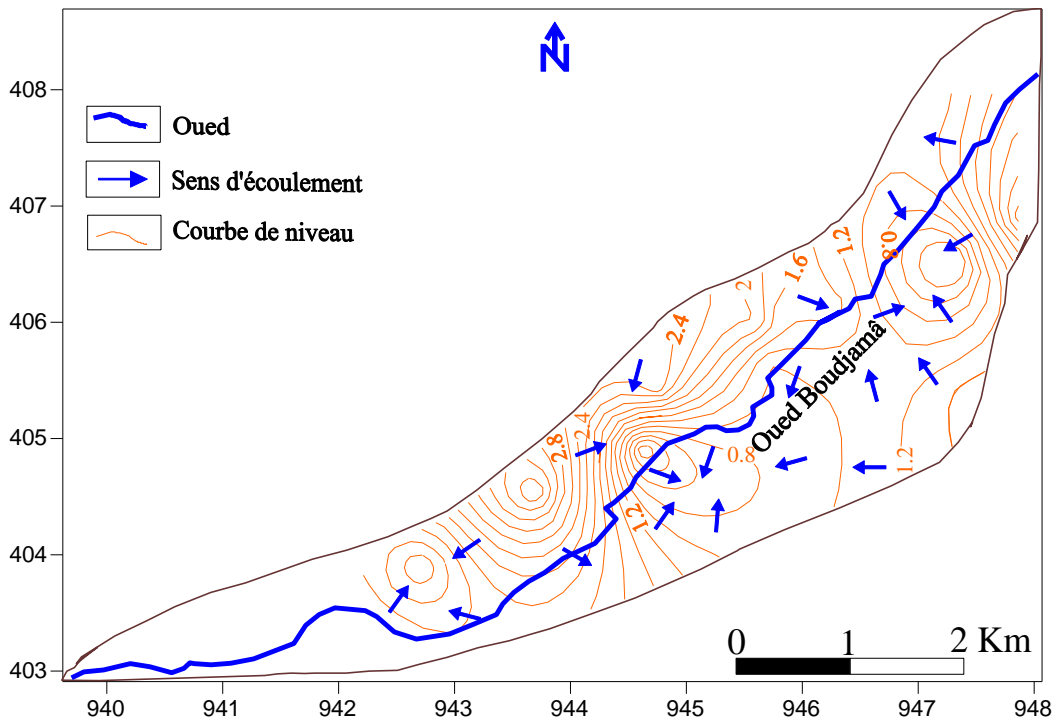
La majorité des points d'eau d'échantillonnage sont des puits dont quelques uns sont équipés par des pompes. Généralement, ils sont destinés à l'AEP et à l'irrigation (fig.21).



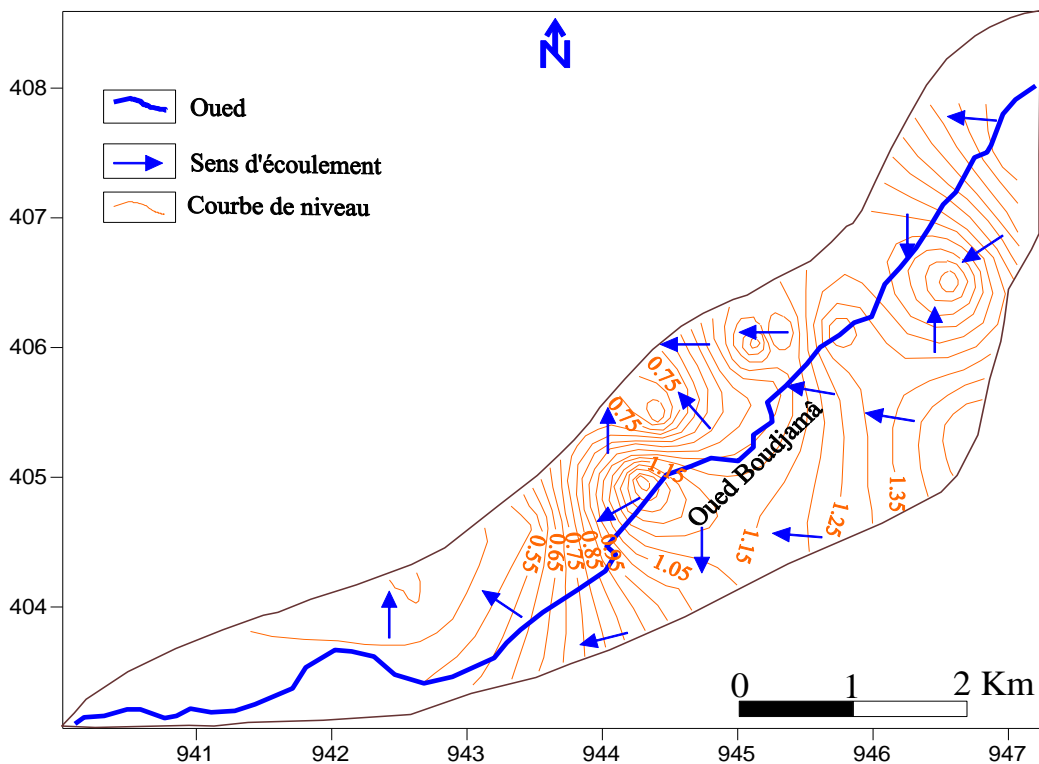
**Fig. 21.** Carte d'inventaire des points d'eaux dans la plaine de Kharéza Mai, 2011

**I-3-1-4-1-Interprétation de la carte piézométrique :**

Les mesures piézométriques réalisées au mois de Décembre 2011 (basses eaux) et au mois de Mai (hautes eaux) ont permis d'élaborer les cartes piézométriques (Fig. 22 et Fig. 23)



**Fig.22.** Carte piézométrique le long de L'oued Boudjamaa Décembre 2011(Hautes eaux)



**Fig. 23.** Carte piézométrique le long de L'oued Boudjamaa Mai 2011 (Basses eaux)

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

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

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

### **Conclusion :**

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

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

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

➤ L'autre profonde ; semi-captive qui devient captive à l'Ouest de la zone d'étude localisée à une profondeur varie de 12 à 80 mètres ; transmissivité 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 réalisées montre que :

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

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

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

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



# *3eme partie*

## **CHAPITRE 5 : CARACTÉRISTIQUES HYDROCHIMIQUES ET DIAGNOSTIC DE LA POLLUTION DES EAUX**

## **I- Introduction**

Par définition l'eau naturelle est un liquide qui se forme par condensation en altitude, relativement pure à l'origine et au cours de son cheminement souterrain, l'eau se charge par un certain nombre d'éléments minéraux en liaison avec la nature des terrains traversés et l'influence des actions anthropiques (rejets industriels et agricoles).

Du fait de sa vocation agricole et industrielle, la région d'étude compte de nombreuses sources de pollution qui peuvent dégrader la qualité de l'eau. Cette situation préoccupante a toujours fait l'objet de plusieurs études parmi lesquelles Djabri (1996), Louhi (1996), Hani (2003), Toumi (2006), Foufou (2008), Djorfi (2009), Seboua (2010), Lekoui (2011) etc.

Dans la perspective de déterminer l'influence des facteurs naturels et anthropiques sur la qualité des eaux, plusieurs données ont été collectées et utilisées. Notre étude a porté sur deux secteurs qui semblent être sujettes à la pollution dans la région d'Annaba : La plaine de Kharréza (influence industrielle et urbaine), et le secteur de Berrahal (zone industrielle).

L'étude hydrochimique, vise à analyser les mécanismes qui régissent les transferts de la pollution vers la nappe, et d'identifier l'origine et la genèse de certains éléments polluants. A partir des données analytiques, des illustrations graphiques (cartes de distribution spatiale et des diagrammes) ont été élaborés pour illustrer ainsi l'évolution physico-chimique des eaux.

## **II- La plaine de Kharraza :**

### **II-1- Echantillonnage et méthodes d'analyse**

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

- 8 échantillons sur l'oued forcha
- 4 échantillons sur l'oued sidi harb
- 5 échantillons sur l'oued bouhdid
- 17 échantillons sur l'oued boudjema.

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

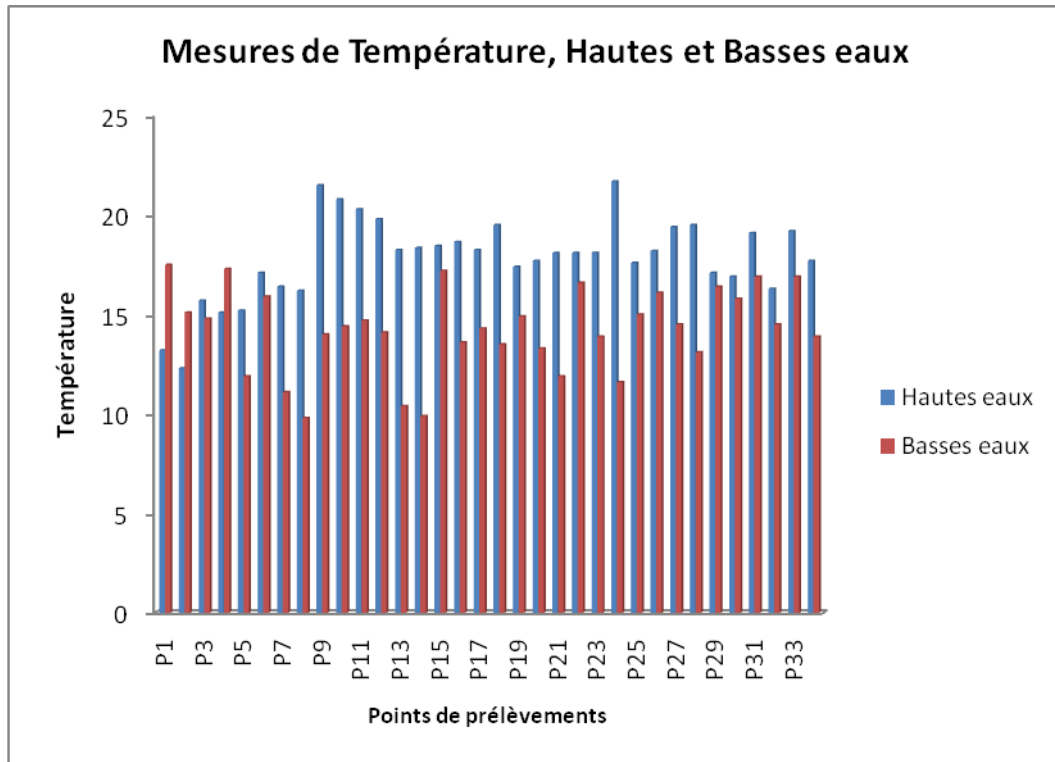
Physique : pH, T°C, CE, TDS.

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

## II-2- Interprétation des résultats :

### II-2-1- La température :

Les valeurs de la température enregistrées des eaux de surface et de la nappe phréatique sont inférieures à la norme de potabilité (norme  $\leq 25^{\circ}\text{C}$ ), c'est-à-dire ce paramètre n'a pas une influence sur la toxicité (fig. 24)



**Fig. 24 : Evolution de la température des eaux de la plaine de Kherraza (Décembre, 2011 et Mai, 2012)**

### II-2-2- Le pH :

La carte de la répartition des pH (Fig.25) montre que les points d'eaux se trouvent dans l'intervalle de la norme de potabilité mais avec des valeurs variables (de 6 à 8). Cela est dû au contact direct avec l'air pour les oueds et à cause de l'absence des apports acides ou alcalins pour les eaux souterraines (puits).

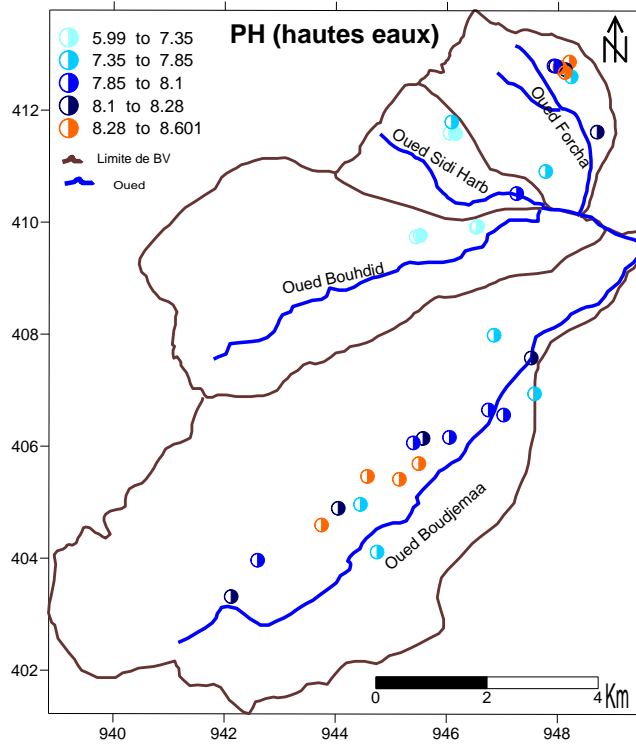
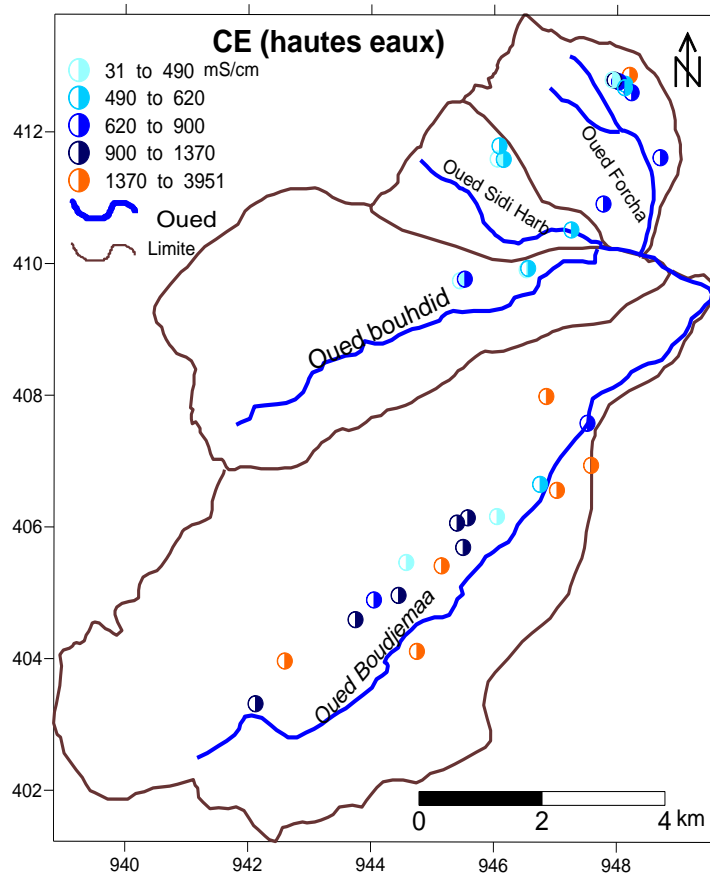


Fig.25. Carte du pH des eaux de la plaine de kharraza (Mai, 2012)

### II-2-3- La conductivité électrique (CE) :

Les valeurs de la conductivité sont très élevées dans toute l'étendue de la plaine (Fig. 26). La minéralisation augmente progressivement de l'amont vers l'aval des cours d'eau. Elle est minimale au puits P33 de l'ordre de 31 mg/l et atteint son maximum au point P27 avec 3950 mg/l.

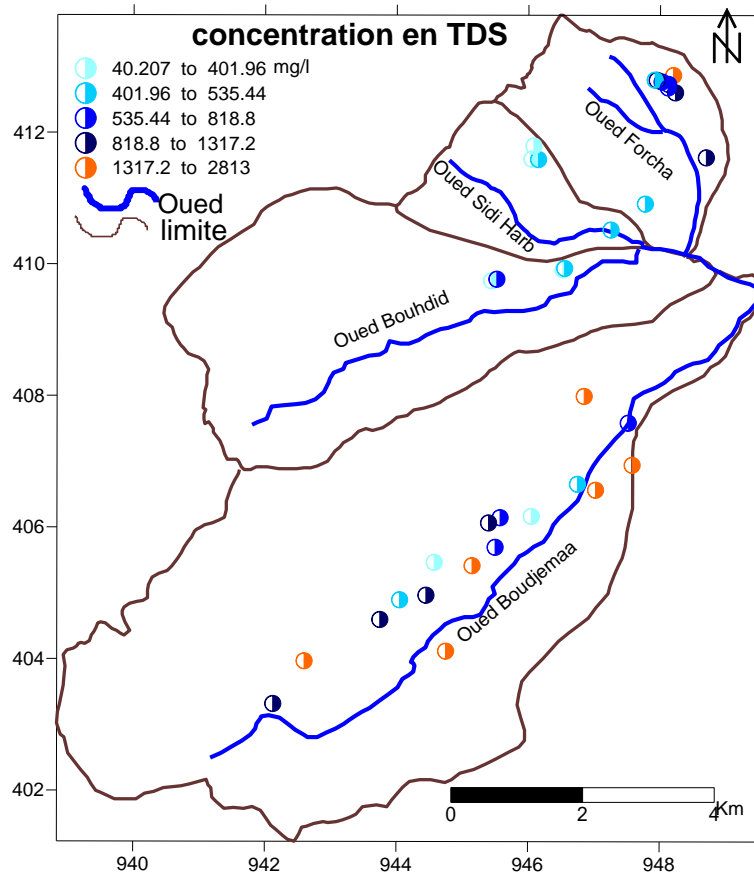
Ces différences sont dues aux apports pluvieux qui diluent les concentrations, et à l'effet de la dissolution des évaporites.



**Fig. 26. Carte de la Conductivité des eaux de la plaine de kharraza (Mai, 2012).  
Norme = < 400  $\mu$ S/cm.**

#### **II-2-4- Solide total dissous (TDS) :**

La figure (Fig. 27) montre que les teneurs les plus élevées se situent principalement au niveau de la plaine de Kherraza et à l'oued Boudjamaa où on observe respectivement des concentrations de 2278 mg/l et 2812 mg/l ; par contre les valeurs faibles sont situées aux niveaux des oueds Sidi Harb et Bouhdid variant entre 40,207 et 535,44 mg/l.

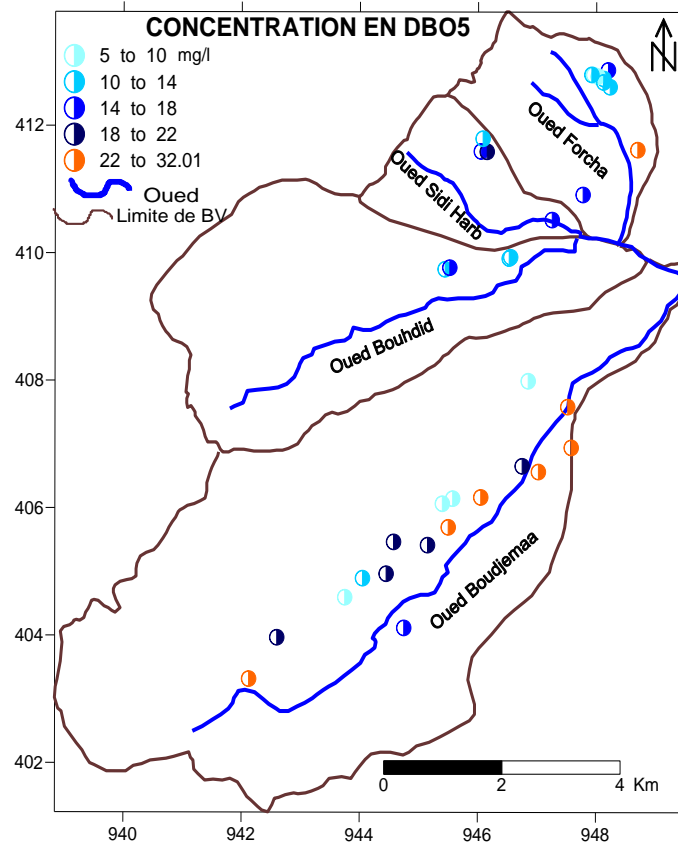


**Fig.27. Carte de la concentration en TDS des eaux de la plaine de kharraza (Mai, 2012).**

#### **II-2-5- La DBO5 :**

D'après la carte (fig.28) on remarque que tous les points d'eau situés dans le terrain d'étude présentent des valeurs de DBO5 supérieures à 5 mg/l, les plus élevées sont observées au niveau de la plaine de kherraza, atteignant jusqu'à 32 mg/l.

Il faut noter que dans un milieu nettement pollué de faibles valeurs en DBO5 ne peuvent pas être considérées comme unique critère d'estimation de la qualité d'une eau.

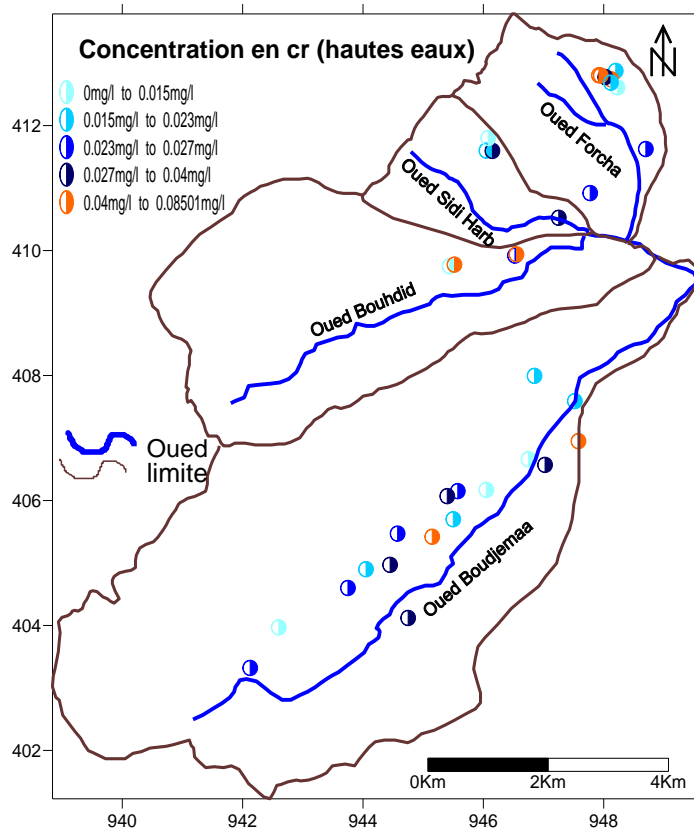


**Fig. 28. Carte de la DBO<sub>5</sub> des eaux de la plaine de kharreza (Mai, 2012)**

## II-2-6- Les métaux lourds :

### II-2-6-1- Le Chrome (Cr) :

La concentration en chrome varie selon la nature des formations géologiques. Comme il est montré dans la carte (Fig.29).



**Fig.29. Carte de la concentration en Cr des eaux de la plaine de kharraza (Mai, 2012)**

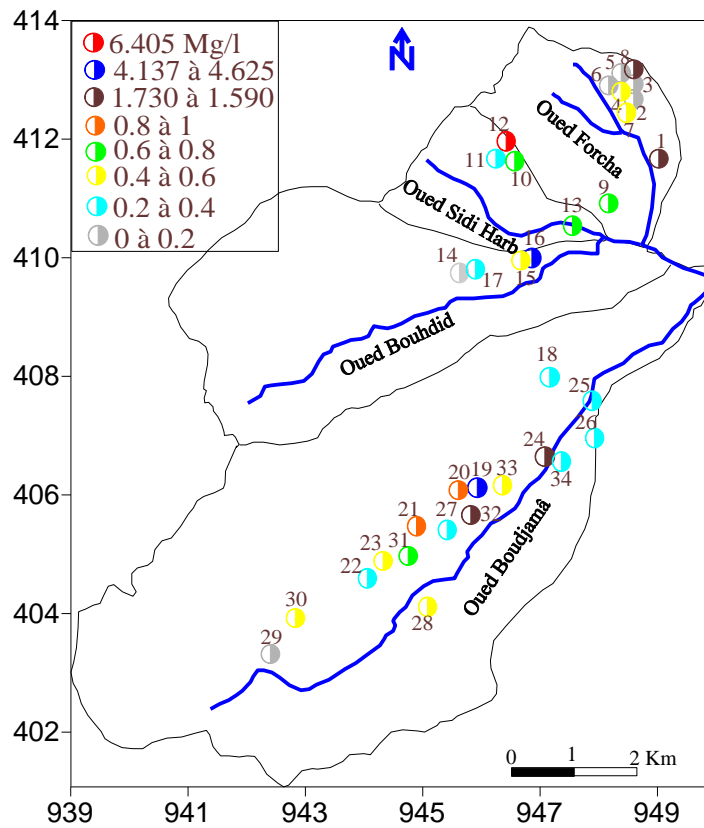
**Norme = 0.1 mg/l**

Les teneurs les plus élevées se localisent au niveau de la plaine Ouest de Annaba (oueds : Forcha, Sidi Harb et Bouhdid) mais elles ne dépassent pas les 0.1 mg/l ; en revanche la plaine de Kherraza est caractérisée par les teneurs les plus faibles (inferieurs à 0.03 mg/l). Leur origine est probablement liée à l'effet des rejets urbains et à l'influence des eaux stagnantes dans les marécages.

#### **II-2-6-2- Le Fer Total (Fer T) :**

La présence du fer dans l'eau peut avoir diverses origines naturelles notamment par le lessivage des terrains argileux. Dans les eaux bien aérées, la concentration de cette élément est forte elle varie de 0.7mg/l à 6.4 mg/l ; par contre dans les eaux peu aérées ou dans la nappe phréatique, les concentrations sont faibles les teneurs se situent entre 0 et 0.6 mg/l. D'une façon générale, la majorité des points présentent des valeurs dépassant la norme (10 mg/l). La présence de cet élément est liée au caractère réduit des eaux qui favorisent la libération de cet élément (fig. 30).

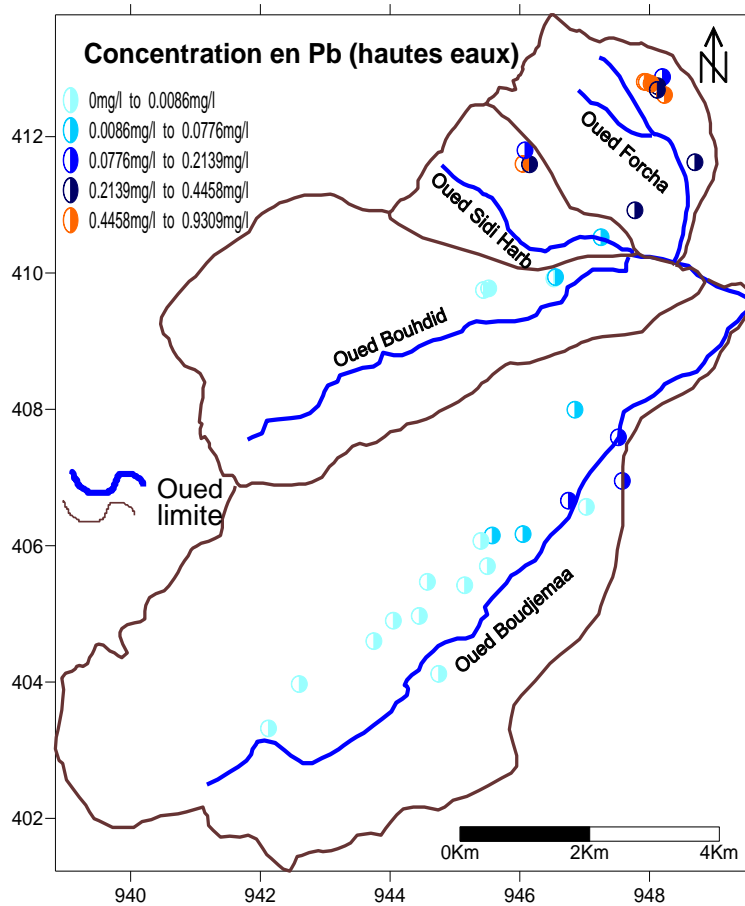




**Fig. 30. Carte du Fer total des eaux de la plaine de kharreza (Mai 2012)**

### II-2-6-3- Le Plomb (Pb) :

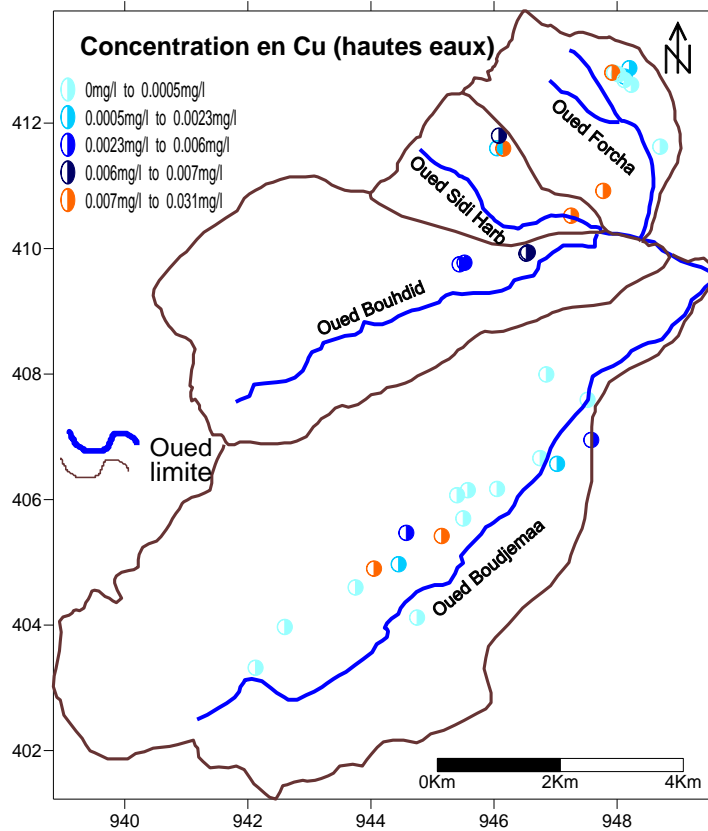
Les fortes teneurs sont observées au niveau du bassin de l'oued Forcha 0.7 à 0.9 mg/l correspondent, respectivement, aux points P4 et P7. Les faibles teneurs sont enregistrées au niveau de la plaine de Kherrazas dont les concentrations varient entre 0 et 0.27 mg/l (Fig. 72). Le secteur de Sidi Harb et Bouhdid présentent des teneurs moyennes variant entre 0 et 0.48 mg/l. Dans tous les cas, ces concentrations restent inférieures aux normes établies par L'OMS.



**Fig.31. Carte de la concentration en Pb des eaux de la plaine de kherraza (Mai, 2012).**

#### **II-2-6-4- Le Cuivre (Cu) :**

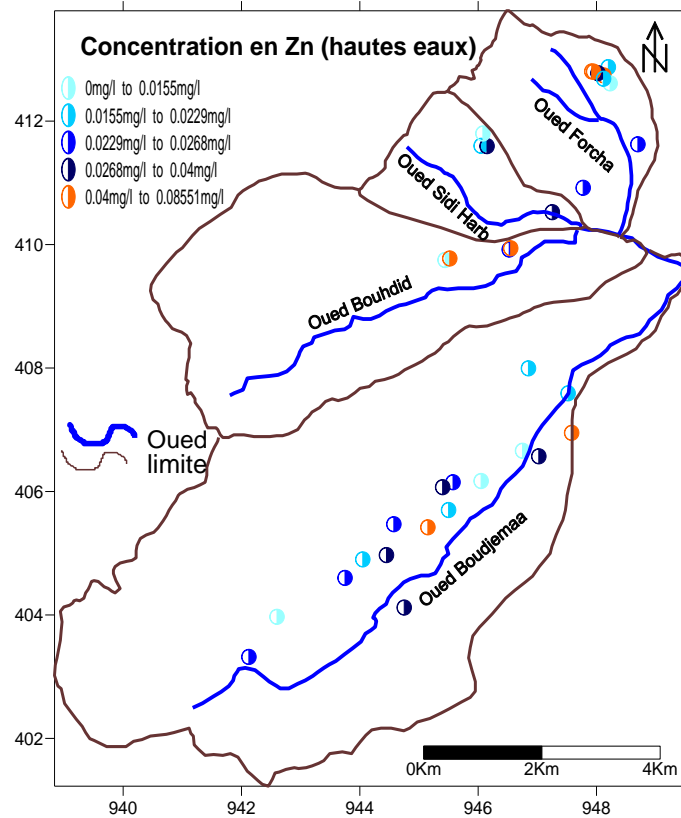
Dans le secteur de Kherraza (Fig.32), les concentrations sont très faible (< 0.03 mg/l). Elles sont inférieures à la norme de potabilité. La plus part des point analysés indiquent des teneurs nulles ou en traces ; elles sont localisées le long de oued Boudjamaa, tandis que le puits P9 dans le bassin de oued Forcha enregistre la plus forte concentration (0.0245 mg/l).



**Fig.32. Carte des teneurs en Cuivre des eaux de la plaine de kharraza (Mai, 2012)**  
**Norme = 1 mg/l**

#### **II-2-6-5- Le Zinc (Zn) :**

En général, les teneurs observées dans les différents points de prélèvement sont inférieures aux seuils établis par l'OMS (Fig.33). Les teneurs les plus significatives se situent dans la plaine de Kherrazas, avec des valeurs qui varient entre 0 et 0.27 mg/l. La présence de cet élément est liée à la fabrication métallique et à l'utilisation des teintures.

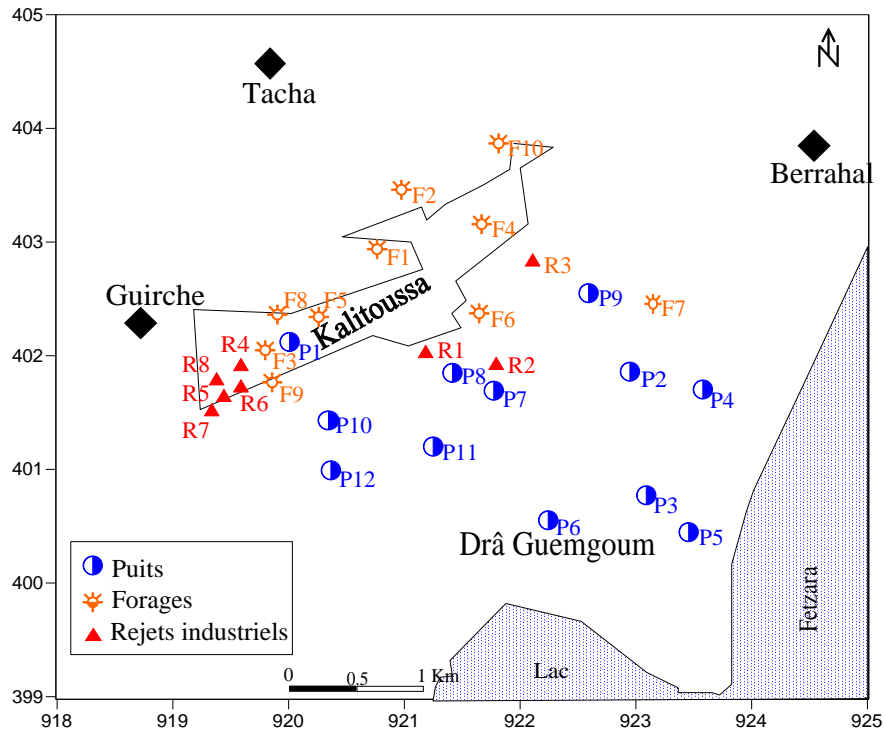


**Fig.33 Carte des teneurs en Zinc des eaux de la plaine de kharraza (Mai, 2012).**

### **III- La zone industrielle de Berrahal et le lac Fetzara :**

#### **III-1- Echantillonnage, méthodes d'analyse :**

Dans le but de connaître l'impact des rejets des unités industrielles sur la qualité des eaux superficielles et souterraines, une campagne d'échantillonnage à été effectuée au mois de mars 2012 ; réalisée sur 30 point d'eau, bien répartis sur la zone d'étude (10 forages ,12 puits et 8 rejets) voir (Fig. 34). Cette étude a donc concerné 21 entreprises de la zone industrielle de Berrahal en plus de leurs rejets et des puits domestiques de la région.



**Fig.34. Carte d'inventaire des points d'eaux et des effluents industriels.**

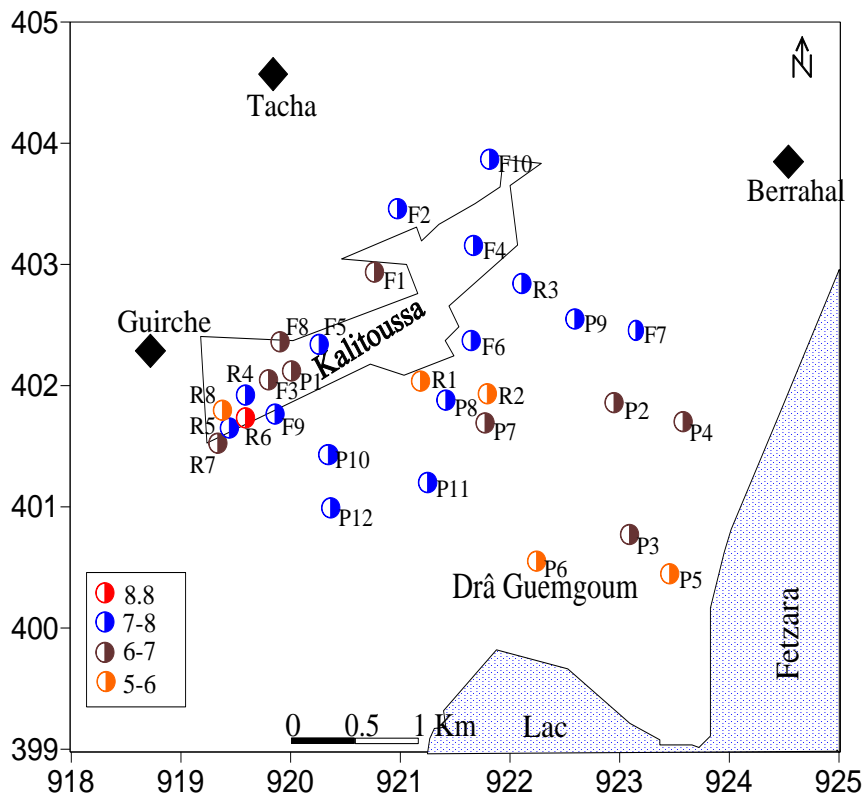
### III-2- Interprétation des résultats :

#### III-2-1- La température :

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

#### III-2-2- Le pH :

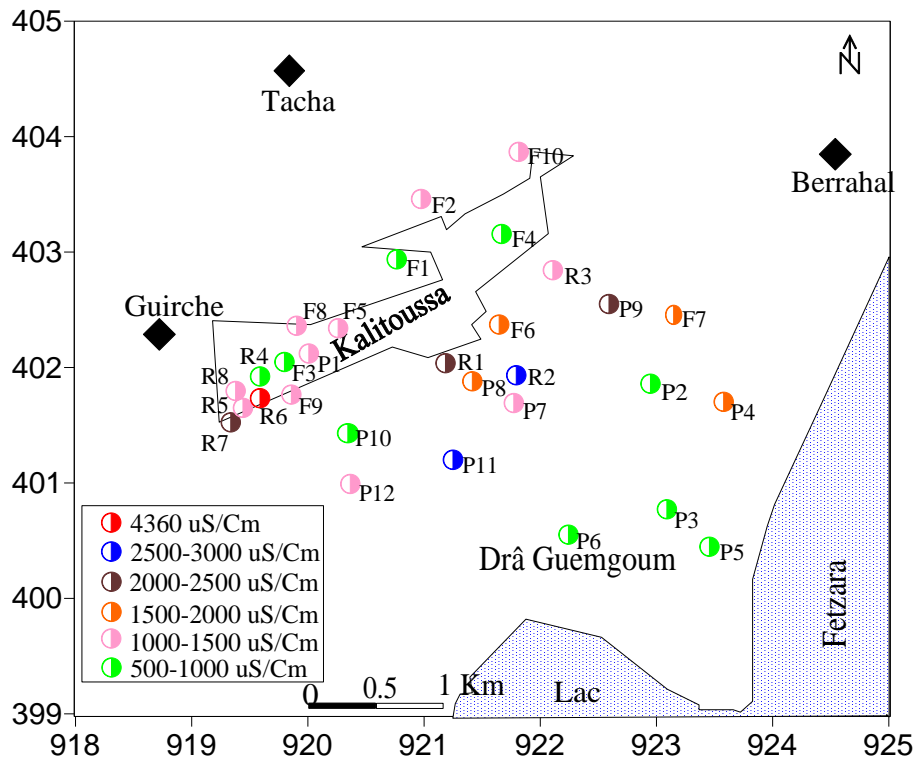
Les échantillons prélevés ont un potentiel d'hydrogène inférieur à 7, donc ce sont des eaux acides avec un pH variant entre 5.6 et 7. Cependant les puits P<sub>5</sub>, P<sub>11</sub>, P<sub>12</sub> et F<sub>7</sub> tendent vers une neutralité, pour les eaux des rejets, les valeurs du pH sont relativement proches des normes (Fig. 35).



**Fig. 35. Carte du pH des eaux de la zone de Berrahal.**

### III-2-3- La conductivité électrique (CE) :

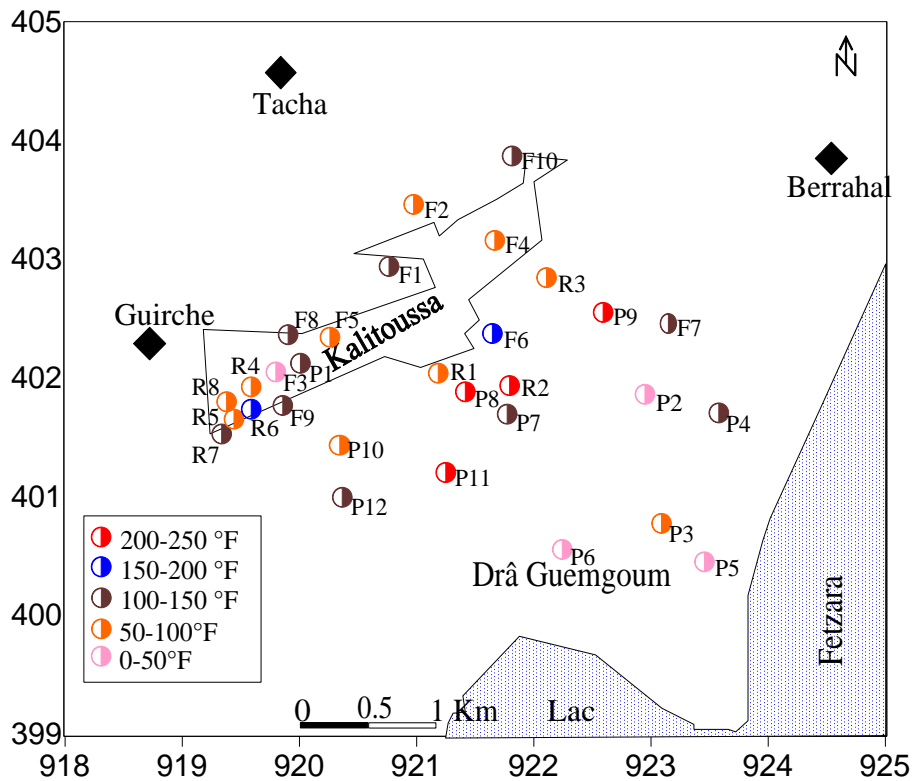
Tous les échantillons présentent des conductivités qui dépassent la norme (fig. 36), les eaux de la région de Berrahal sont très minéralisées donc très conductrices, ce qui indique qu'il y a un fort lessivage des minéraux, soit au niveau des couches superficielles (argiles, sables et graviers) captées par les puits, soit au niveau des couches relativement profondes (cipolins) captées par les forages. Le rejet R<sub>6</sub> de l'unité (Bona, olive) présente la plus forte conductivité 4200uS/cm.



**Fig. 36. Carte de la conductivité électrique des eaux de Berrahal**

### III-2-4- La dureté totale (TH) :

les eaux des forages et puits ayant des duretés différentes (Fig. 37); dans les points (p<sub>2</sub>, p<sub>14</sub>, p<sub>20</sub>, F<sub>1</sub> et F<sub>3</sub>) les eaux sont relativement douces et présentent des duretés variant entre (13.5 à 18.4 mg/l), pour le reste les eaux sont dures à très dures (31.2 à 126 mg/l). ces fortes teneurs sont dues à la matrice géologique sachant que dans la région étudiée affleurent des formations riches en Ca<sup>2+</sup> et Mg<sup>2+</sup> (cas des cipolin).

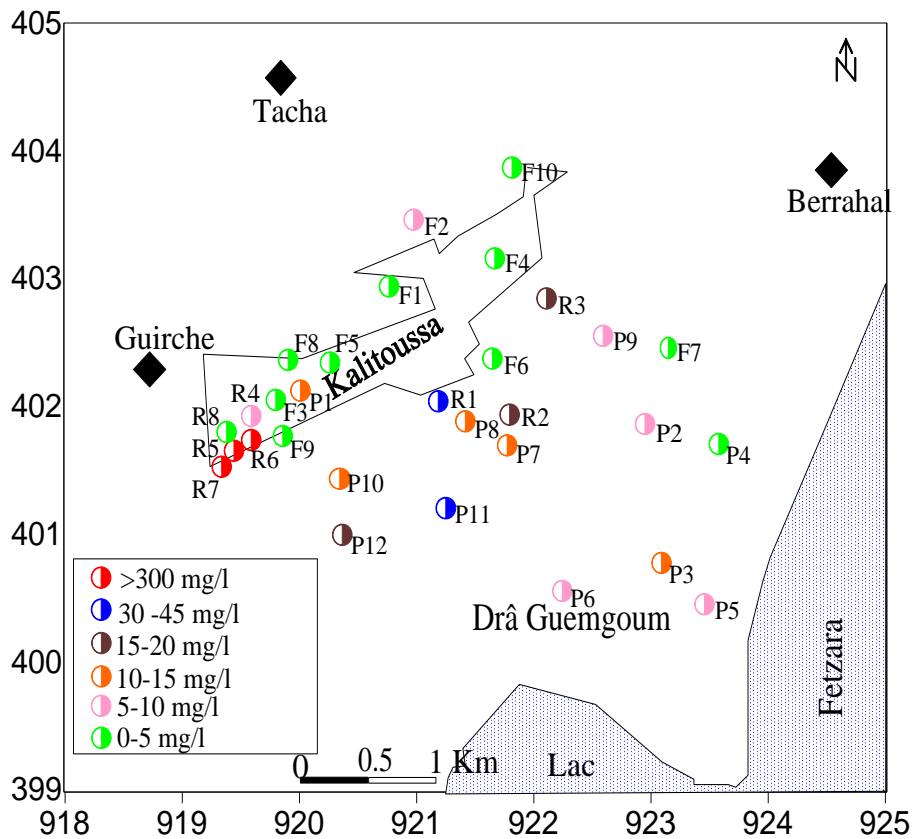


**Fig. 37.** Carte de la Dureté des eaux de Berrahal

### III-2-5- La DBO5

La DBO5 est faible au niveau des forages (1.33 à 5.10 mg/l), cependant elle est relativement forte (6 à 30 mg/l) pour les puits (Fig. 38). L'abondance de la matière organique au niveau de la nappe phréatique est synonyme de la présence de pollution ; Les puits sont très vulnérables à la pollution car ils sont parfois mal équipés et la nappe est accessible à la pollution industrielle et domestique (proximité des fosses septiques, etc....) et à la pratique des activités agricoles et d'élevage par les habitants.





**Fig. 38.** Carte de la DBO<sub>5</sub> des eaux de Berrahal

Pour les rejets, les valeurs sont très variables, elles sont tributaires de l'activité exercée. Les rejets contenant une faible quantité de matière organique biodégradable (R1, R2, R3 et R4) montre une DBO<sub>5</sub> relativement faible (4.23 et 45 mg/l). Par contre, les rejets des industries agro-alimentaires (R5, R6 et R7) montrent des valeurs de la DBO<sub>5</sub> très élevées, elles atteignent 410.15mg/l (valeur maximale) au niveau du rejet de la laiterie Fetzara R6.

### III-2-6- Les métaux lourds :

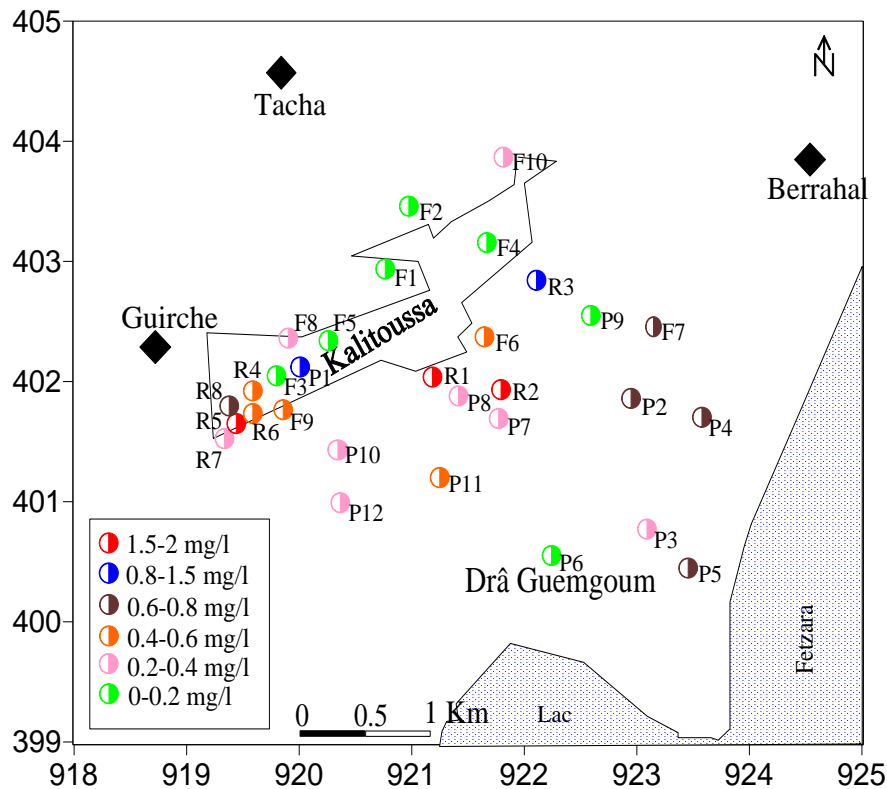
#### III-2-6-1- Le Plomb (Pb) :

Tous les échantillons possèdent des teneurs très élevées, qui dépassent largement la norme, soit pour les eaux des puits, des forages ou des eaux des rejets (Fig. 39). La teneur minimale (0.035 mg/l) est observée au point F5 et la teneur maximale (1.8 mg/l) est enregistrée au niveau du rejet R2 (rejet entreprise Protuil et entreprise de Semoule).

Cette surconcentration est probablement accentuée par la nature des formations métamorphiques et le phénomène de lessivage qui régissent la libération en grandes quantités

de cet élément.

De plus la pollution en Pb est d'origine industrielle marquée par l'activité intense de transformation des métaux et de stockages des déchets minéraux et le lavage des engins, puisque tous les points contiennent des concentrations élevées.



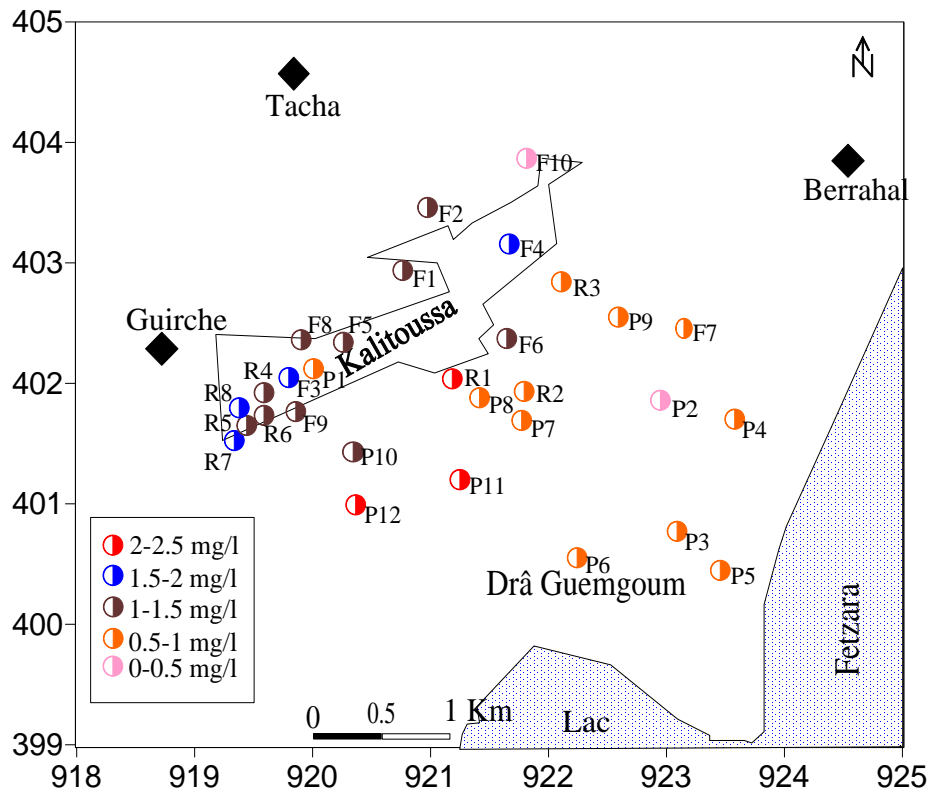
**Fig. 39.** Carte du Pb des eaux de Berrahal.

### III-2-6-2- Le Fer total (Fe. T)

Les effluents industriels constituent la principale cause de pollution; car ces rejets liquides sont évacués, directement, dans des cours d'eau débouchant dans le lac Fetzara.

La nature géologique de la région (forte minéralisation, existence de quelques anciens gisements de fer à proximité), peut, localement être à l'origine des teneurs excessives en fer

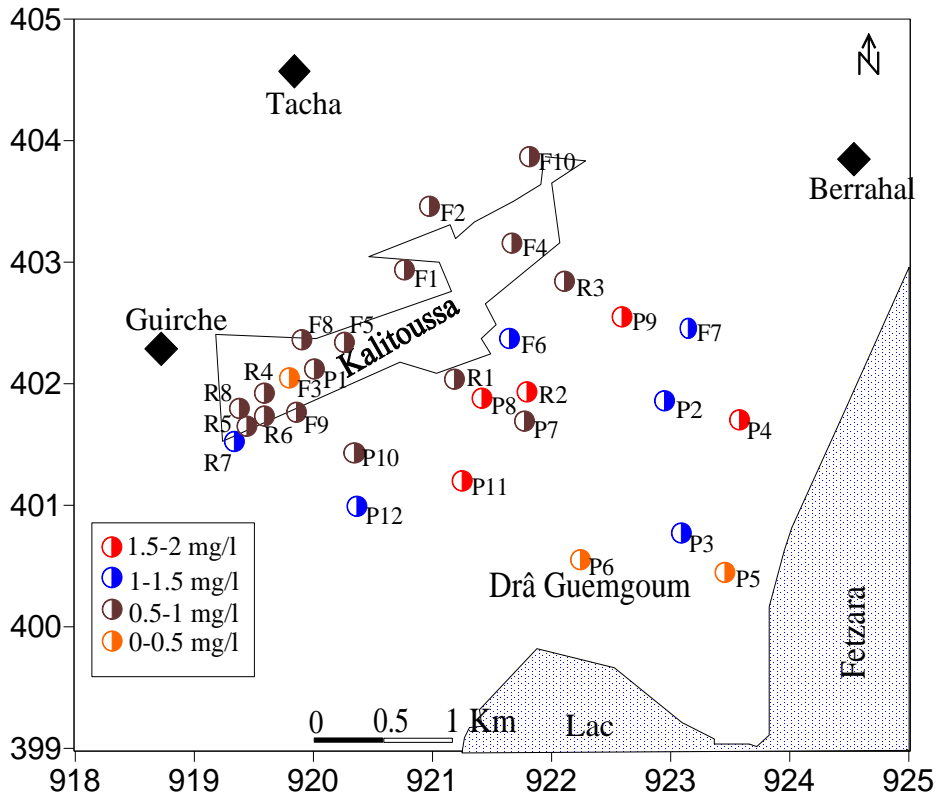
La majorité des points ont des teneurs supérieures à la norme induisant une forte contamination (fig. 40). La plus faible est de 0.28 mg/l au point P2 et la plus forte est de 2.43 mg/l au niveau du rejet R1 (rejet Entreprise Protuil : galvanisation à chaud).



**Fig. 40.** Carte du Fer Total des eaux de Berrahal

### III-2-6-3- Le Cuivre (Cu) :

A la différence des autres métaux lourds, le cuivre présente des concentrations qui ne dépassent pas la norme dans presque la totalité des points. La teneur minimale est de 0.070 mg/l enregistrée au niveau du puits p6 et la teneur maximale enregistrée au point P8 avec une concentration de 1.87 mg/l, (fig.41).

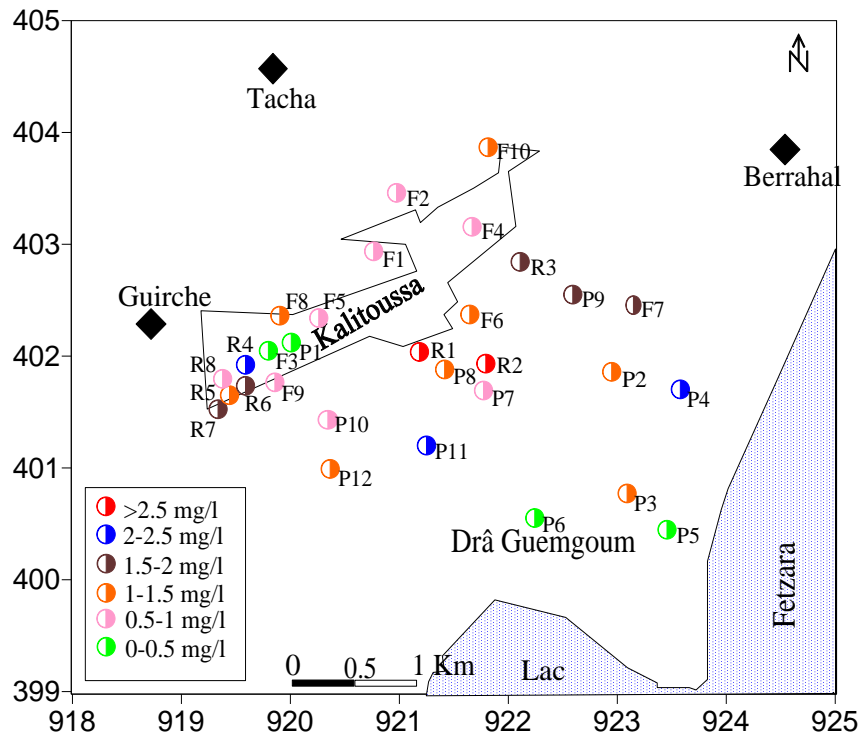


**Fig.41.** Carte du Cu des eaux de Berrahal

#### III-2-6-4- Le Manganèse :

Cet élément se trouve à des concentrations élevées qui dépassent la norme OMS pour les eaux potables (0.5 mg/l) dans la majorité des échantillons. Les teneurs les plus élevées caractérisent surtout les rejets des industries mécaniques et agro-alimentaires avec un maximum de 2.73 mg/l au rejet R2 (Entreprise Protuil).

Pour les puits et forages, elle est de l'ordre de 2.3 mg/l au point P4 et p11, Les eaux des puits sont plus concentrées que les eaux des forages, notamment les puits situés à proximité du cours d'eau qui évacuent les rejets des entreprises industrielles mécaniques et agroalimentaires (fig. 42).

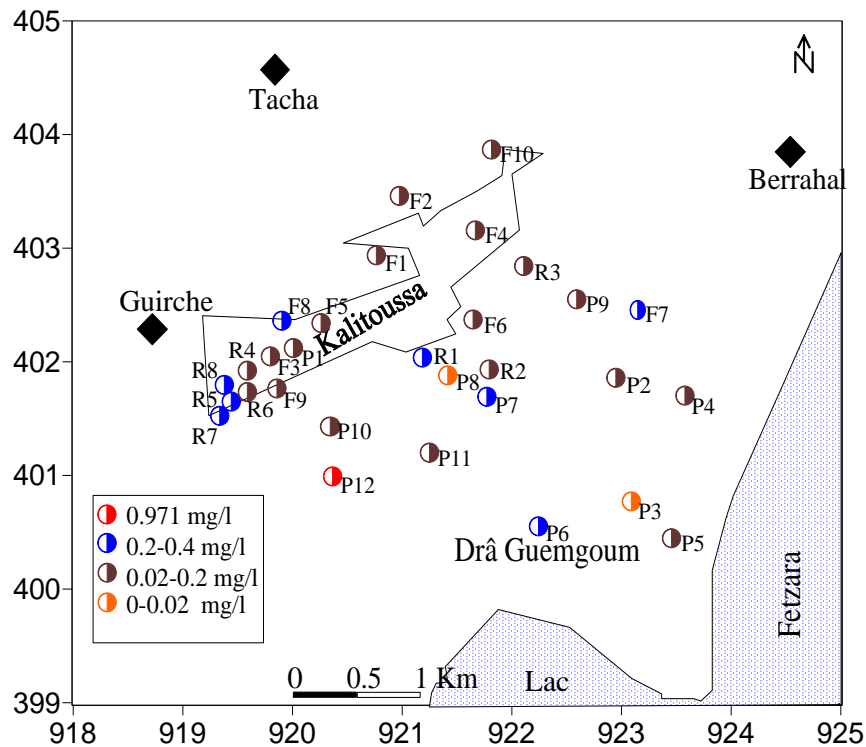


**Fig.42.** Carte du Mn des eaux de Berrahal

### III-2-6-5- Le Nickel (Ni) :

Pour les puits /forages tous les points dépassent la norme. La teneur minimale est de l'ordre de 0.089 mg/l au point p8, la concentration maximale est enregistrée au point p12 de avec 0.960 mg/l et 2.630 mg/l au niveau de R1 pour les rejets (Fig. 43).

L'origine du nickel dans les eaux des forages et des puits, situés loin de toutes sources de pollution, est principalement due à l'existence de formations métamorphiques riches en sulfures.



**Fig. 43.** Carte du Ni des eaux de Berrahal

**Conclusion :**

Les eaux des secteurs étudiés sont caractérisées par plusieurs polluants. Elles sont, parfois, de mauvaise qualité et non potables dans plusieurs puits. Les valeurs de la DBO5 sont assez élevées indiquant une charge organique très importante surtout au niveau des effluents urbains et agroindustriels et dans des puits, généralement mal équipés et situés à proximité des installations industrielles.

Les entreprises industrielles sont à l'origine de la dégradation de la qualité des eaux souterraines de la région. La pollution est marquée par la présence d'éléments toxiques tels les métaux lourds (Cr, Fe, Pb, Ni, Zn, Mn) en fortes teneurs. Les rejets liquides de quelques entreprises (galvanisation, transformation des métaux, raffinerie,...) qui sont rejetés soit à l'air libre au niveau des oueds ou à proximité du lac Fetzara sont très chargés et constituent une menace réelle pour la faune et la flore.

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 contribue, donc, à mettre en évidence que les ressources en eaux souterraines des secteurs étudiés 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 considérer 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.

## **CHAPITRE 6 : ÉVALUATION DU RISQUE SANTÉ HUMAINE**



## **I-Introduction :**

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

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

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

L'étude de risque a pour objectif :

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

## **II- La toxicité des métaux lourds :**

### **II-1- Le Chrome (Cr) :**

#### **II-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, la pédosphère, l'atmosphère et la biosphère sont liées pour l'essentiel à des émissions d'origine industrielle.

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

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

### **II-1-2- Impact sur la santé :**

Il existe deux formes du chrome (trivalent et hexavalent). Le chrome métal et le chrome trivalent ne sont pas toxiques. Le chrome hexavalent qui entraîne des inflammations muqueuses et des ulcères est cancérigène. On note également le risque de cancer important pour les embryons et les foetus 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.

### **II-2- Le Plomb (Pb) :**

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

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

#### **II-2-1-Impact sur la santé :**

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

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

### **II-3- Le Fer total (Fe. t) :**

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

#### **II-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.

### **II-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.

### **II-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.

#### **II-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.

#### **II-4-2- Impact sur la santé :**

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

### **II-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.

### **II-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 aiguë vis-à-vis de certains poissons (truite arc en ciel).

### **II-5-2- Impact sur la santé :**

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

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

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

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

### **II-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.

#### **II-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.

#### **II-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.

### III- 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).

#### III-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.

#### III-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.

##### III-2-1- Dose journalière d'exposition (DJE) : Est donnée par la relation suivante :

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

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

Tel Que :

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

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

##### III-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.

### III-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.

### IV-Estimation du risque :

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

#### IV-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.

#### IV-2- Estimation du risque cancérigène :

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.

Dans ce travail, nous avons pris en considération ces risques (usage eaux souterraine) pour les populations (adultes et enfants) des agglomérations de Kharréza et Berrahal.

### **VI-2-1. Plaine de Kherraza :**

Les résultats obtenus par le logiciel RISK 4 sur les deux catégories de la société (adultes et enfants) sont illustrés dans les tableaux (n°14) et les histogrammes (n°44) suivants correspondants à chaque élément.

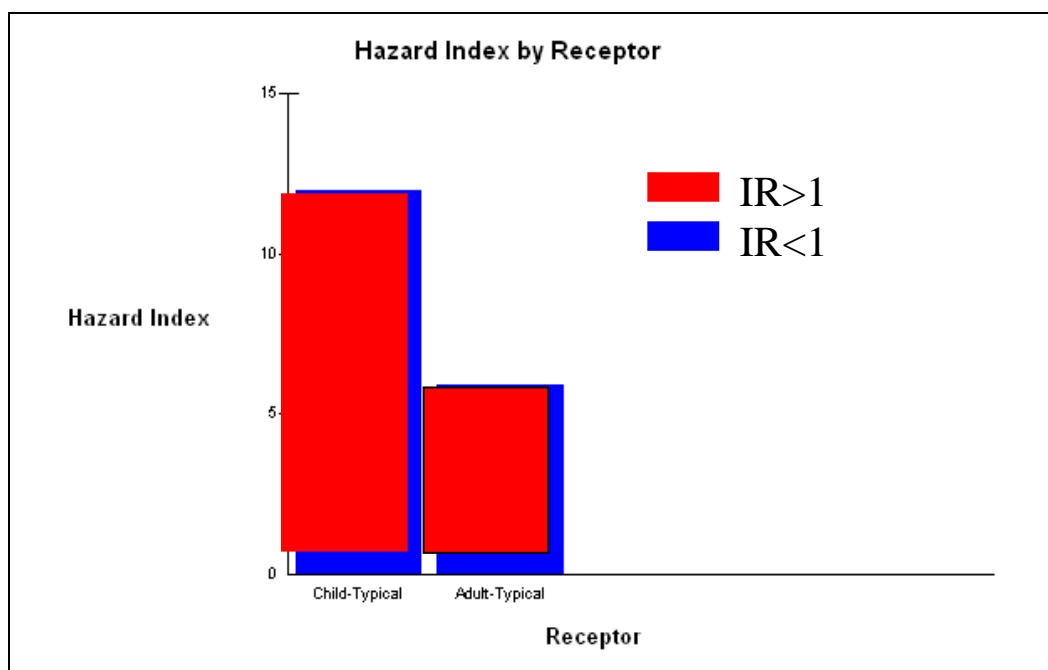
Dans le secteur de la plaine de Kharréza ; L'IR est acceptable pour le chrome, le cuivre et le zinc. En revanche il apparaît clairement inacceptable dans le cas du plomb dans la majorité des points (tab. 16) où il dépasse le seuil de tolérance à l'exception des puits (P1, P3, P16, P18, P19 et P26).

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

**Tab.16.** Indice du risque total pour l'usage des eaux souterraines (plaine de Kharréza)

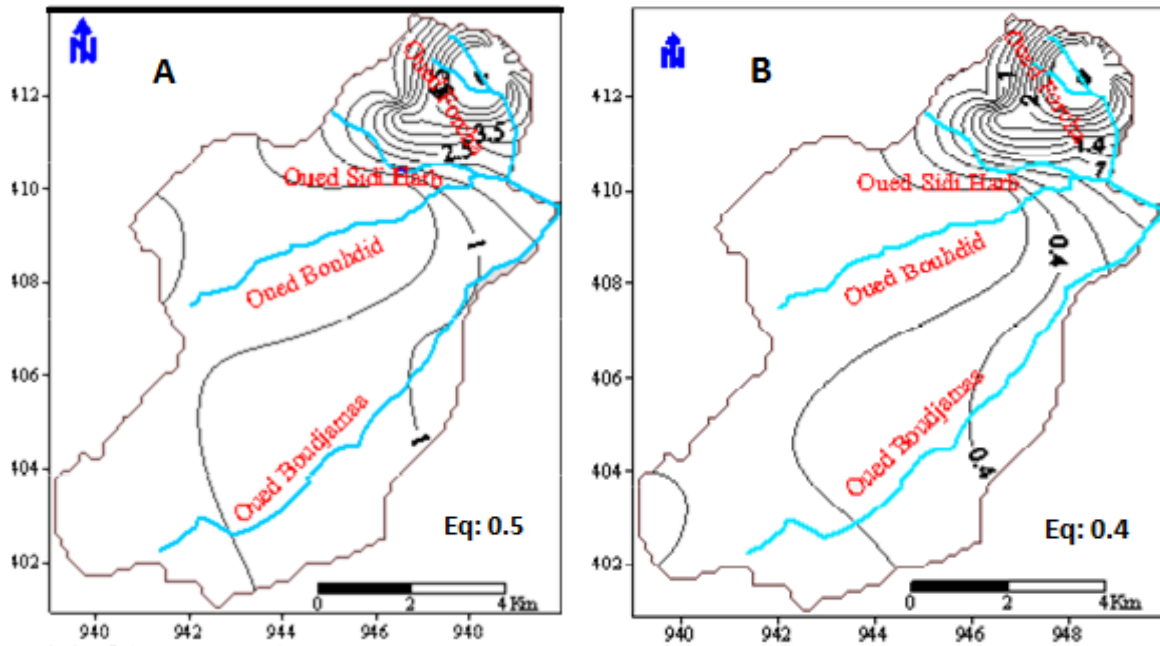


L'IR est inacceptable pour l'enfant au niveau des puits (P2, P25 et P26). Seulement l'exemple du plomb où le secteur est beaucoup plus sujet au risque est pris en compte dans les histogrammes de l'indice du risque (Fig.44).



**Fig.44. Indice du risque total du Pb dans la plaine de Kharréza**

La figure (Fig.45 A et B) dans le secteur de Kharréza (eaux souterraines) montre qu'il n'y a pas un risque cancérigène dans la partie amont (les sources des oueds étant situées dans le massif métamorphique de l'Edough loin de toute pollution). En général, le gradient de contamination s'accroît de l'amont vers l'aval induisant, de ce fait, une augmentation du risque en allant vers l'aval, autrement dit, le risque devient plus important là où l'activité anthropique est très intense (urbanisme, industrie...).



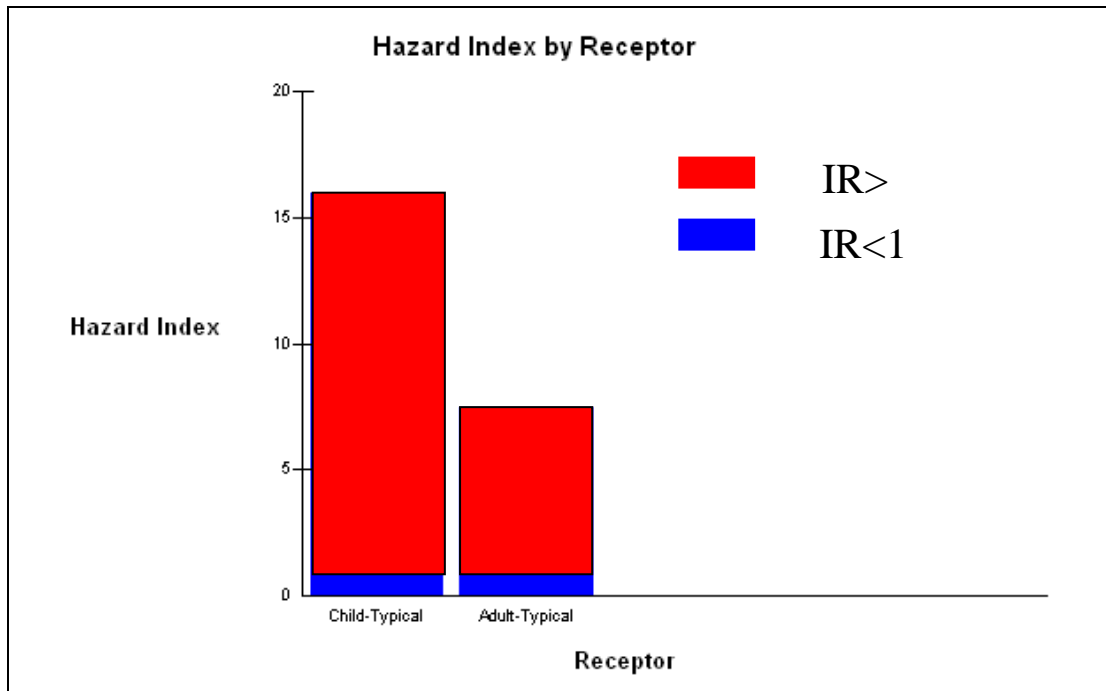
**Fig.45** .Carte de L'IR du Pb pour l'enfant (A) et pour l'adulte (B) (Kharréza)

#### VI-2-2. Secteur de Berrahal

Dans la zone industrielle de Berrahal, l'évaluation du risque sur la santé humaine des ETM (tab.15) montre que pour le plomb l'IR est inacceptable dans la quasi-totalité des points d'eau à l'exception de quelques forages (F1, F2, F3, F4, F5 et F10) où IR ne dépasse pas la norme. (Fig.46). Quant au nickel ; IR est acceptable dans tous les points analysés à l'exception du P12 où il est intolérable pour l'enfant (de l'ordre de 1.6). L'IR pour le cuivre est conforme aux normes tolérables dans tous les points analysés.

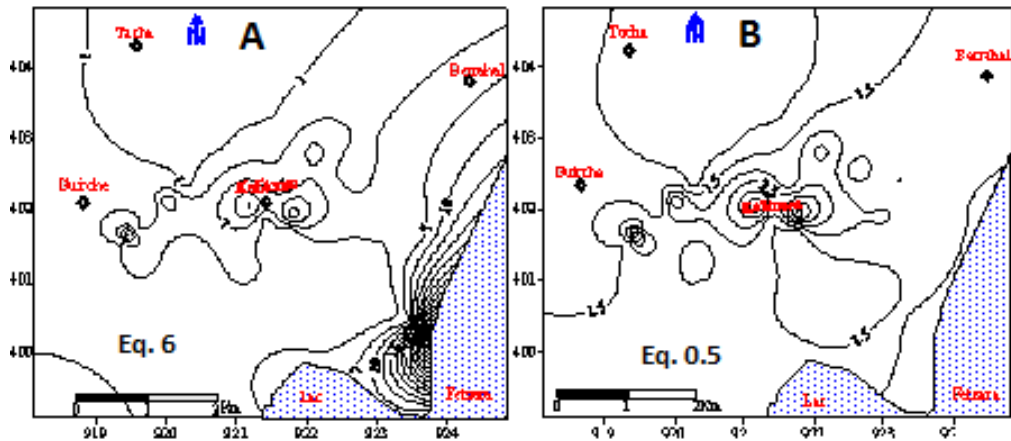
Points d'eau	Indice du Risque					
	Pb		Cu		Ni	
	enfant	adulte	enfant	adulte	enfant	adulte
P1	9.6	4.8	/	/	$2.8 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^{-1}$
P2	5.2	point 2.6	/	/	$2.1 \cdot 10^{-1}$	$8.6 \cdot 10^{-2}$
P3	2.1	$9 \cdot 10^{-1}$	/	/	$2 \cdot 10^{-1}$	$1.1 \cdot 10^{-1}$
P4	4.9	3.2	/	/	$2.9 \cdot 10^{-1}$	$1.3 \cdot 10^{-1}$
P5	6.1	3.0	/	/	$2.3 \cdot 10^{-1}$	$1.1 \cdot 10^{-1}$
P6	1.3	$7.5 \cdot 10^{-1}$	/	/	$3.4 \cdot 10^{-1}$	$1.6 \cdot 10^{-1}$
P7	2.2	$8.3 \cdot 10^{-1}$	/	/	$3.1 \cdot 10^{-1}$	$1.5 \cdot 10^{-1}$
P8	2.9	1.5	1.9	$8.1 \cdot 10^{-1}$	$1.4 \cdot 10^{-1}$	$6.8 \cdot 10^{-2}$
P9	1.9	$8.3 \cdot 10^{-1}$	/	/	$3.5 \cdot 10^{-1}$	$1.4 \cdot 10^{-1}$
P10	2.2	$8.8 \cdot 10^{-1}$	/	/	$2.3 \cdot 10^{-1}$	$1.1 \cdot 10^{-1}$
P11	4.9	2.2	/	/	$3 \cdot 10^{-1}$	$1.5 \cdot 10^{-1}$
P12	3.1	1.5	/	/	1.7	$7.3 \cdot 10^{-1}$
F1	$7 \cdot 10^{-1}$	$3.2 \cdot 10^{-1}$	/	/	$3.2 \cdot 10^{-1}$	$1.5 \cdot 10^{-1}$
F2	$3 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-1}$	/	/	$2.7 \cdot 10^{-1}$	$1.3 \cdot 10^{-1}$
F3	$9.1 \cdot 10^{-1}$	$4.2 \cdot 10^{-1}$	/	/	$1.7 \cdot 10^{-1}$	$7.9 \cdot 10^{-2}$
F4	1.9	$7.5 \cdot 10^{-1}$	/	/	$1.6 \cdot 10^{-1}$	$8.1 \cdot 10^{-2}$
F5	$3.9 \cdot 10^{-1}$	$1.8 \cdot 10^{-1}$	/	/	$1.9 \cdot 10^{-1}$	$7.4 \cdot 10^{-2}$
F6	3.5	2	/	/	$1.4 \cdot 10^{-1}$	$6.7 \cdot 10^{-2}$
F7	6.1	2.9	/	/	$3.4 \cdot 10^{-1}$	$1.6 \cdot 10^{-1}$
F8	3.1	1.6	/	/	$3.4 \cdot 10^{-1}$	$1.5 \cdot 10^{-1}$
F9	4.8	2.1	/	/	$2.5 \cdot 10^{-1}$	$1.5 \cdot 10^{-1}$
F10	$6.9 \cdot 10^{-1}$	$3.5 \cdot 10^{-1}$	/	/	$1.6 \cdot 10^{-1}$	$7.6 \cdot 10^{-2}$
R1	$1.7 \cdot 10^{+1}$	7	/	/	$3.6 \cdot 10^{-1}$	$1.8 \cdot 10^{-1}$
R2	$1.5 \cdot 10^{+1}$	7.5	/	/	$1.6 \cdot 10^{-1}$	$7.6 \cdot 10^{-2}$
R3	7.9	4.2	/	/	$2 \cdot 10^{-1}$	$8.6 \cdot 10^{-2}$
R4	4.3	2.4	/	/	$3.2 \cdot 10^{-1}$	$1.8 \cdot 10^{-1}$
R5	$1.8 \cdot 10^{+1}$	7.8	/	/	$7 \cdot 10^{-1}$	$3.1 \cdot 10^{-1}$
R6	4.2	1.9	/	/	$1.7 \cdot 10^{-1}$	$8.1 \cdot 10^{-2}$
R7	3.9	1.7	/	/	$5 \cdot 10^{-1}$	$2.6 \cdot 10^{-1}$
R8	6.7	3.3	/	/	$4.9 \cdot 10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-1}$

**Tab.17.** Indice du risque total pour l'usage des eaux souterraines : secteur de Berrahal



**Fig.46. Indice du risque total du Pb dans la zone**

Les résultats de L'IR du plomb enregistré pour l'enfant et l'adulte dans la région de Berrahal sont utilisés à fin de dresser les cartes du risque (Fig.47 A et B), ces dernières montrent que L'IR augmente en allant de la périphérie vers le centre où se localise la zone industrielle du Kalitousa (10 pour l'enfant et 5.5 pour l'adulte), les courbes dans la partie Sud Est sur les alentours du lac Fetzara ont la même allure que celles du centre indiquant ainsi un risque considérable, cependant il semble être négligeable ou nul dans la partie nord (Tacha).



**Fig.47 .Carte de L'IR du Pb pour l'enfant (A) et pour l'adulte (B) dans le secteur de Berrahal**

## Conclusion

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

Les eaux des secteurs étudiés sont très minéralisées, parfois de mauvaise qualité et non potables dans plusieurs puits. De plus ces eaux sont 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 près des fermes agricoles et des installations agroindustrielles.

L'autre type de pollution qui est non moins dangereux est celui de la contamination par les métaux lourds. Les entreprises industrielles de Berrahal et de Kherraza sont responsables, dans la majorité des cas, de la présence des éléments toxiques tels les métaux lourds (Cr, Fe, Pb, Ni, Zn, Mn) en fortes teneurs. Les rejets liquides de quelques entreprises (galvanisation, transformation des métaux, raffinerie,...) qui sont rejetés soit à l'air libre au niveau des oueds ou à proximité du lac Fetzara sont très chargés et constituent une menace pour la santé des habitants qui utilisent ces puits ; le risque est inacceptable dans la majorité des points analysés.

Cette étude contribue donc à mettre en relief la gravité des problèmes de pollution auxquels les ressources hydriques sont confrontées. En effet, Les métaux lourds présents à

des concentrations faibles sont considérés des causes des phénomènes de toxicité chronique et des effets d'interaction. Ils représentent ainsi des risques certains pour la santé des populations et pour la qualité des ressources naturelles.

*Conclusion*

## Conclusion générale

A l'issue de ce travail, on conclue que la plaine de Kherraza et la zone industrielle de Berrahal, appartenant aux bassins versants tributaires du massif de l'Edough, ont connu un développement démographique et industriel considérables dont la mauvaise gestion a créé plusieurs cas de pollution. Cette dernière est observée au niveau des eaux superficielles et souterraines. Les oueds et leurs affluents en relation hydraulique avec la nappe superficielle, reçoivent le long de leurs parcours, les rejets urbains et industriels voient leur eau se dégrader de l'amont vers l'aval.

La diversité des caractéristiques physico-géographiques et hydrogéologiques montre que les secteurs étudiés sont très vulnérables à la pollution du fait de leur appartenance aux zones humides.

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 715 mm et 1221 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 258mm, 750mm et 332mm respectivement pour les stations de Berrahal, Seraidi et les salines. A partir du mois de Mai, la RFU commence à s'épuiser jusqu'au mois de juin où elle devient nulle. Le déficit agricole commence au mois de Juin jusqu'au mois d'Aout.

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

L'étude hydrodynamique montre que la nappe superficielle (10-15m d'épaisseur) est formée de sable fin et gravier possède les caractéristiques suivantes : la transmissivité est très



faible ( $10^{-6}$  à  $10^{-4}$  m<sup>2</sup>/s) ; la perméabilité moyenne est comprise entre  $10^{-6}$  et  $10^{-5}$  m/s et le coefficient d'emmagasinement est de l'ordre de 2 %. La nappe profonde ; semi-captive qui devient captive à l'Ouest de la zone d'étude, est localisée à une profondeur de 12 à 80 mètres ; sa transmissivité est comprise entre  $5.10^{-5}$  et  $10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s.

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

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

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

L'établissement des cartes de distribution spatiales de la DBO5 et des éléments toxiques métalliques a montré une dégradation qualitative importante des eaux souterraines, particulièrement dans les secteurs situés en amont des plaines où l'activité anthropique est intense. A ce niveau, les concentrations des métaux lourds dépassent largement les valeurs standards pour l'eau potable.

Les principaux facteurs responsables de la pollution des eaux souterraines ont été identifiés, il s'agit de :

- L'influence naturel, par l'effet de la dissolution des formations géologiques (évaporitiques et carbonatées).
- l'influence anthropique (rejets industriels et urbains, engrais et surexploitation).
- la faible profondeur de la nappe et la perméabilité de la zone non saturée Ainsi la forte humidité
- l'absence des stations d'épuration et de recyclage pour les effluents
- Le traitement des données chimiques (métaux lourds) par le logiciel RISK4, montre qu'au niveau de la zone industrielle de Berrahal l'IR est inacceptable pour le chrome et le plomb, alors qu'il est acceptable pour le cuivre et le nickel.

- L'IR pour la plaine de kharéza est acceptable pour le cuivre, le zinc et le chrome tandis qu'il est inacceptable chez l'enfant dans certains puits pour l'élément du plomb.
- pour réduire les risques de pollution des eaux souterraines des mesures d'urgence doivent être prises :
- il est nécessaire d'installer un système, de collecteurs de drainage efficace, et un procédé de traitement des effluents pour maintenir les concentrations en dessous des standards de qualité des eaux notamment pour les métaux lourds.
- Utilisation rationnelle des engrais dans l'agriculture et choisir le type des plantes qui adsorbent mieux les composés azotés et sulfatés.
- Des campagnes de contrôle de la qualité des eaux doivent être effectuées d'une manière systématique pour prévoir toute augmentation excessive des teneurs en éléments toxiques.

## Références bibliographiques

- AFNOR (Association Française de Normalisation), 2005.** Evaluation de la qualité des sols : Volume 1 : Méthodes d'analyse chimique ; Volume 2 : Méthodes d'analyses physique
- Agence de bassin hydrographique Constantinois -Seybouse- Mellegue, 2003.-** actualisation du Caneva 2003, Bassin de la Seybouse.
- Ahmed-Said Y., 1993.** The Edough leptynites, Annaba, NE Algeria, are they good indicators to the origin of the biotite gneisses?. Bulletin du Service Géologique de l'Algérie, volume 4, n°2, pp. 99-107.
- Benoune A., Laouar L., Ramoul H., 1986.** Essai d'aménagement d'une commune sub-littorale (cas d'El Hadjar). Mém d'ing. Univ Constantine. 123 p.
- Caby R., Hammor D., 1992.** Le massif cristallin de l'Edough (Algérie) : un "Metamorphic Core complex" d'âge miocène dans les Maghrébides. Comptes rendus de l'Académie des sciences. Série 2. Mécanique, physique, chimie, sciences de l'univers, sciences de la terre, 314 (08) 829-835.
- Castany G., 1982.** Principes et méthodes de l'hydrogéologie. Ed. Dunod, Paris, France. 238p.
- Chauve P., Mania J., Mignot C., Rémy F., Verjus Ph. 1986.** Interaction nappe-rivière et cycle de fer-manganèse dans la nappe alluviale de L'Ognon (Franche-Comté). Hydrogéologie, 1, 3-18
- Debieche T. H., Mania J., Mudry J., 2001.** Pollution d'une nappe alluviale par le chrome et l'étain à partir d'un stockage de résidus métallurgiques : application à la basse plaine de la Seybouse, Nord - Est Algérie, Africa Geoscience Review, Vol. 8, No 4, pp. 451 - 461
- Debieche T.H., 2002.** Evolution de la qualité des eaux (salinité, azote et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle. Application à la basse plaine de la Seybouse Nord-Est algérien. Th. Doct. Univ. de Franche-Comté, 199 p.
- Djabri L., 1996.** Mécanismes de la pollution et vulnérabilité des eaux de la Seybouse. Origines géologique industrielle, agricole et urbaine. Th. Doct. Es-Sciences, Univ. Annaba, 261p.
- Djorfi S., Hani A., Laouar R., Djabri L. 2008.** Impact des rejets industriels sur la qualité du milieu et sur les eaux de la nappe superficielle. Cas de la région de Annaba (Algérie). Bulletin du Service Géologique National, Alger/ Vol. 19 N°1- 2008. [www.mem-algeria.org/.../Bulletin\\_ANGCM\\_Janvier08.pdf](http://www.mem-algeria.org/.../Bulletin_ANGCM_Janvier08.pdf)
- Djorfi S., Fougou A., Majour H., Belloulou L., Hani A., Djabri L. 2009.** Impact de la décharge publique d'Annaba sur la qualité des eaux de la plaine de l'oued Zied. Revue COST N°8. [www.enset-oran.dz/spip.php?article305](http://www.enset-oran.dz/spip.php?article305)
- Gaud B., 1976.** Etude hydrogéologique du système aquifère d'Annaba - Bouteldja (synthèse des connaissances et recherche des conditions de modélisation) Rapport de l'ANRH. Algérie. 151p.
- Gleizes G., Bouloton J., Bossière G., Collomb P., 1988.** Données lithologiques et pétro-structurales nouvelles sur le massif cristallophyllien de l'Edough (Est-Algérien). C. R. Acad. Sci. Paris, t. 306, Série II, p. 1001-1008.
- Hammor, D., 1992.** Du Panafricain au Miocène : 600 millions d'années d'évolution polycyclique dans le massif de l'Edough (Algérie Nord Orientale). Retrécés par la pétrologie, la tectonique et la géochronologie (U/Pb, Rb/Sr, Sm/Nd et 39Ar/40Ar). Thèse de l'USTLanguedoc, Univ. de Montpellier II, 205 p.

- Hani, A., 2003.** Analyse méthodologiques de la structure et des processus anthropiques : application aux ressources en eau d'un bassin côtier méditerranéen. Th. Doct. Es-Sciences, Univ. Annaba. 214p.
- Hannouche, M., 1990.** Approche à l'étude des mécanismes de la pollution d'une nappe alluviale côtière (Annaba) en site industriel urbanisé. Traitement statistique des données Hydrochimiques. Mémoire de magistère. Univ. Annaba. 202p.
- Hilly J., 1962.** Etude géologique du massif de l'Edough et du Cap de Fer (Est constantinois).
- Joleaud L., 1936.** Etude géologique de la région de Bône et de la Calle. Bull. Serv. Carte Géol. de l'Algérie. 2<sup>e</sup> série, 12, 200p.
- Kherici N., 1993.** Vulnérabilité à la pollution chimique des eaux souterraines d'un système de nappes superposées en milieu industriel et agricole (Annaba la Mafragh-nord-est algérien). Th. Doct. Es-Sciences, Univ. Annaba. 170p.
- Lahondère J.C., 1987.** Les séries ultra-telliennes d'Algérie Nord oriental et les formations environnantes dans le cadre structural. Th. Doct. Es-Sci. Univ. Paul Sabatier, Toulouse, France, 238 p.
- Lekoui S. 2011.** Evaluation du risque lié aux sites pollués en milieu urbain et industriel (Annaba, Nord Est algérien). Mémoire de Magistère, Université Badji Mokhtar, Annaba. 138p.
- Louhi A., 1996.** Pollution des eaux et sols. Cas de la région de Annaba, Etude des interférences et dosage Al, Fe, Cu, Zn, Ni, Cr, Pb, Sn, V et Hg par spectrométrie d'émission Plasma-ARC (DCPAES), absorption atomique (SAA) et spectrophotométrie UV/VIS., Th. Doct. Univ. Annaba, 167p.
- Marre A., 1987.** Le Tell Oriental Algériens de Collo à la frontière Tunisienne. Etude géomorphologique, volume 1 et 2 O.P.U. Alger. Algérie.
- MATET (Ministère de l'Aménagement du territoire, de l'Environnement et du Tourisme) :** Guide des techniciens communaux pour la gestion des déchets ménagers et assimilés.
- MATET (2004) :** Atelier international sur le nouveau mode de gestion des déchets municipaux : le centre d'enfouissement technique (CET), janvier 2004.
- Mehdi M., 2008.** Caractérisation de la décharge publique de Tiaret-Algérie et son impact sur la qualité des eaux souterraines. Thèse de Doctorat en Sciences, Univ. Badji Mokhtar, Annaba. 203p.
- Nafâa, K., 1985.-** Nappes superposées en région côtière, hydrodynamique et hydrochimie (aquifère de Annaba) Nord Est algérien. Th. Doct. Ing. USTL, Montpellier, 159p.
- McDonald, M.G., and Harbaugh, A.W., 1988.** A modular three-dimensional finite-difference groundwater flow model : Washington, DC, U.S. Geological Survey Open-file Report 83-875.
- O.M.S., 2004.** Guidelines for drinking-water quality, Vol. 1, Recommendations, 3<sup>rd</sup> Ed., World Health Organization, Geneva.
- Ramdani A., 1996.** Hydrogéologie et modélisation de la nappe dunaire de Bouteldja. Mém. Magistère Univ. de Annaba, 138p.
- Rodier J., 1996.** L'analyse de l'eau: Eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer, Ed. Dunod, 8<sup>ème</sup> Edition, Paris, 1383p.
- Sonatrach, 1966.** Esquisse structurale de la plaine de Annaba. Rapport A.N.R.H., inédit. Annaba, Algérie.

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

**Travi Y., Mudry J. 1997.** Méthode pour l'évaluation et la gestion du risque nitrate dans les aquifères de socle de la zone sahélienne d'Afrique de l'Ouest. Hydrogéologie, n°1, pp. 13-21.

**USDA, RURAL DEVELOPMENT** Environmental Compliance Library Criteria for Municipal Solid Waste Landfills, Title 40, Part 258, Subpart F.

**Vila J.M. 1980.** La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins algéro-tunisiens, Th. Doct. Es-scie. Nat. Univ. Pierre et Marie - Curie, Paris VI, pp. 282-296.

**Zenati N., 1999.** Relation nappe-lac, Confirmation par l'hydrochimie, Cas de la nappe superficielle de la plaine Ouest d'El Hadjar, Lac Fetzara N-E Algérien, Mémoire de magistère, Univ. Annaba, 148p.