

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

BADJI MOKHTAR-ANNABA UNIVERSITY  
UNIVERSITE BADJI MOKHTAR-ANNABA



جامعة باجي مختار-عنابة

Faculté des sciences de la Terre

Année 2007

Département de Géologie

# MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Magister

***Caractérisation de la pollution des eaux en  
milieu industriel et urbain.  
Cas de la plaine d'El-Hadjar***

Option  
***Hydrochimie***

Par  
**HAMZAOUI Wahiba**  
(Ingénieur d'Etat en Hydrogéologie)

DIRECTEUR DE MEMOIRE : A. HANI

MC (U.B.M. Annaba)

## DEVANT LE JURY

PRESIDENT :	L. DJABRI	Professeur (U.B.M. Annaba)
EXAMINATEURS :	S. CHAAB	MC (U.B.M. Annaba)
	H. CHAFFAI	MC (U.B.M. Annaba)
INVITÉ	S. DJORFI	Chargé de cours (U.B.M. Annaba)

## الملخص

إن تلوث المياه هو مفهوم دائم التطور. أصبح يشكل في يومنا هذا خطرا حقيقيا يهدد البيئة ومن ثمة صحة الإنسان.

بسبب المناخ الجيد والموقع الجغرافي المناسب الذي يتميز به سهل مدينة عنابة، استغل هذا الأخير

في مجالين ساهما بشكل كبير في تدني نوعية المياه فيه وهما الزراعة والصناعة. الدراسة التي شملت نوعية المياه الجوفية ومياه واد مبعوجة خلال عشرة أشهر أظهرت نسبة التلوث الكبيرة في هذا الواد بشكل خاص ثم على مستوى المياه الجوفية. أظهرت نتائج هذه الدراسة وجود نسب كبيرة من المعادن الثقيلة مثل الكروم، الرصاص و النحاس ومن العناصر العضوية مثل النتريت والفوسفات وأخيرا العناصر المعدنية مثل الكالسيوم، المغنسيوم، السولفات وخصوصا الكلور و الصوديوم، هذه النتائج تبين المصادر المختلفة للتلوث و التي قد تكون صناعية بالنسبة للمعادن الثقيلة، زراعية وحضرية بالنسبة للعناصر العضوية وطبيعية عن طريق تحلل الصخور بالنسبة للعناصر المعدنية.

**الكلمات المفتاح :** واد مبعوجة، المياه الجوفية، التلوث، المعادن الثقيلة، التمدن، التفاعل واد/ طبقة مائية.

# Abstract

## **Abstract:**

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

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

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

**Keywords :** Meboudja wadi, Groundwater, Pollution, Heavy metals, Mineralization, stream aquifer interaction.

# Résumé

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

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

L'étude effectuée sur la qualité des eaux souterraines et de l'oued Meboudja sur une période de dix mois montre la forte pollution notamment de l'oued et ensuite des nappes qui évolue en fonction du temps et de l'espace. L'existence de fortes concentrations essentiellement en métaux lourds tels que le Chrome, le Plomb et le cuivre, en éléments organiques tels que  $\text{NO}_2$ ,  $\text{PO}_4$  et en éléments majeurs de la minéralisation comme le Ca, Mg,  $\text{SO}_4$  et surtout le Cl et le Na, indique une origine multiple de la pollution qui semble être industrielle pour les premiers, agricole et urbaine pour les seconds et naturelle par l'action de lessivages des formations géologiques pour les troisièmes.

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

*A lui seul je dédie ce travail...." Tu es parti mais ton étoile brillera toujours dans le ciel pour éclairer mon chemin... Cher **Said**"*

## Remerciement

Au terme de cette étude, je tiens en premier lieu à remercier **Dieu** qui m'a facilité le travail en mettant dans mon chemin des gens qui m'ont énormément aidé et soutenu.

Je remercie profondément les deux personnes qui m'ont été pour un énorme soutien : Monsieur **A.Hani** d'avoir accepté d'encadrer et diriger cette étude et d'avoir été très patient avec moi et mon frère **Said** qui m'a beaucoup encouragé et m'a accompagné sur terrain et qui est, malheureusement, parti avant de voir le fruit de ce travail, que Dieu puisse lui accorder sa sainte miséricorde et l'accueillir en son vaste paradis.

Ma profonde reconnaissance va envers Mr L.Djabri , Mr S.Djorfi, Mme H.Majour, Mr Chouabbi, Mr N.Zenati et Mr S.Labar pour leurs conseils et intérêt qu'ils ont porté à cette étude. Je remercie également les membres de jury qui ont accepté de critiquer ce travail.

Très chaleureusement, je remercie Mme Djamilia pour son soutien et ses efforts pour mener à bien les analyses chimiques. Aussi tout le personnel du laboratoire central du complexe Mittal Steel qui m'a accueilli pendant le stage : Mr Bouguettaya, Mr A.H. Zaire, Mr A.A.Far, Mr A.H.Mahdjoub, Mme K.Khelfati, Mme L.Kassi et Mme A.Hadji.

Une grande partie de ce travail m'était facilitée grâce à l'aide de Mr Abassi et Mr Aouadi de l'ANRH de Annaba, qu'ils trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude.

A ma chère nièce Wafa je dis " merci beaucoup ma petite comme ton père tu étais très généreuse avec moi".

Je n'oublierai jamais l'aide, les conseils et surtout les encouragements et le soutien moral de ma famille et de mes précieux amis : C.Warda, B.Lilia, H.S.Samia, Fahima et Hakima de LTP Est, B.Nawel, A.Ilhem, S.Amel, D.Salima, Z.Hichem, G.Lassaad, F.Atif, S.Riad, H.Nabil, B.Nabil, T.fayçal et Haroune.

A toutes les personnes qui n'ont pas hésité un seul instant à m'encourager même avec un sourire **je vous remercie de tout mon cœur**

<b>Liste des tableaux</b>	<b>Page</b>
<b>Tableau 1</b> : Les coordonnées Lambert des stations étudiées .....	22
<b>Tableau. 2</b> : Précipitations annuelles dans les stations des Salines, Pont Bouchet et El Kerma (mm) .....	24
<b>Tableau.3</b> : Température moyenne mensuelle (°C) à la station des salines (1972-2005) .....	25
<b>Tableau 4</b> : Moyenne mensuelle de l'humidité relative à la station des Salines en % (1984-2005) .....	25
<b>Tableau 5</b> : Moyenne mensuelle de la vitesse des vents en m/s à la station des Salines (1984-2005) .....	26
<b>Tableau 6</b> : L'évapotranspiration réelle selon la formule de Turc .....	27
<b>Tableau 7</b> : Bilan de l'eau selon C.W Thornthwaite, station des Salines (1972-2005) .....	28
<b>Tableau 8</b> : Bilan de l'eau selon C.W Thornthwaite, station de Pont Bouchet (1977-2005) .....	28
<b>Tableau 9</b> : Bilan de l'eau selon C.W Thornthwaite, station d'El Kerma (1977-2004).....	29
<b>Tableau 10</b> : Les affluents de la Seybouse.....	30
<b>Tableau 11</b> : Inventaire des usines existant dans la région d'étude. Source : Agence des bassins hydrographiques .....	34
<b>Tableau 12</b> : Analyse physico-chimique de l'eau du rejet urbain de Sidi Amar (novembre 1999) .....	35
<b>Tableau 13</b> : Classification de la dureté de l'eau selon l'OMS (1972) .....	43
<b>Tableau 14</b> : Inerties totales (ACP septembre 2005).....	59
<b>Tableau 15</b> : Matrice de corrélation (ACP septembre 2005).....	61
<b>Tableau 16</b> : Inerties totales (ACP novembre 2005).....	63
<b>Tableau 17</b> : Matrice de corrélation de l'ACP novembre 2005).....	64
<b>Tableau 18</b> : Inerties totales (ACP mai 2006).....	66
<b>Tableau 19</b> : Matrice de corrélation (ACP mai 2006).....	67
<b>Tableau 20</b> : Inerties totales (ACP globale).....	69
<b>Tableau 21</b> : matrice de corrélation (ACP globale).....	70

<b>Liste des figures</b>	<b>Page</b>
<b>Fig. 1.</b> Situation géographique et géologique des plaines de la région de Annaba-Bouteldja (d'après Strojexport, 1975, modifié).....	2
<b>Fig. 2.</b> Esquisse structurale des plaines de Annaba-Bouteldja (Sonatrach, 1969 in Hani, 2003, modifiée).....	8
<b>Fig. 3.</b> Bloc diagramme au travers de la plaine de Annaba (Hani, 2003).....	9
<b>Fig. 4.</b> Coupes au travers de la plaine de Annaba (ANRH, 1976, in Hani, modifiées)....	12
<b>Fig. 5.</b> Carte des isolignes des différentes couches du système aquifère.....	13
<b>Fig. 6.</b> Carte d'inventaire des points d'eau .....	14
<b>Fig. 7.</b> Carte piézométrique de la nappe superficielle de la plaine de Annaba, mai 2006	15
<b>Fig. 8.</b> Variation du niveau piézométrique dans l'espace et dans le temps.....	17
<b>Fig. 9.</b> Relation hydrodynamique entre l'oued et la nappe superficielle.....	18
<b>Fig. 10.</b> Ecoulements interannuels moyens dans la zone d'étude (1965-1995).....	22
<b>Fig. 11.</b> Histogrammes des précipitations moyennes mensuelles (mm).....	23
<b>Fig. 12.</b> Courbe ombrothermique des salines (1972-2005).....	25
<b>Fig. 13.</b> Représentation graphique du bilan hydrique de Thornthwaite de la station des Salines (1972-2005).....	29
<b>Fig. 14.</b> Carte du réseau hydrographique de la région d'étude.....	31
<b>Fig. 15.</b> Variation du pH (août 2005-mai 2006).....	38
<b>Fig. 16.</b> Variation du potentiel d'oxydoréduction (août 2005 - mai 2006).....	40
<b>Fig. 17.</b> Variation de la température (août 2005- mai2006).....	41
<b>Fig. 18.</b> Variation de la conductivité électrique (août 2005- mai 2006).....	42
<b>Fig. 19.</b> Variation de Ca, Mg, HCO <sub>3</sub> et SO <sub>4</sub> dans les campagnes du novembre 2005 et mai 2006.....	45
<b>Fig. 20.</b> Variation de PO <sub>4</sub> , NO <sub>2</sub> , Cl et Na dans les campagnes du novembre 2005 et mai 2006.....	47
<b>Fig. 21.</b> Variation du Chrome dans le temps.....	49
<b>Fig. 22.</b> Evolution du Chrome dans l'espace (septembre 2005).....	50
<b>Fig. 23.</b> Evolution du Chrome dans l'espace (mai 2006).....	50
<b>Fig. 24.</b> Variation du Fer total dans le temps .....	51
<b>Fig. 25.</b> Evolution du Fer dans l'espace (septembre 2005).....	52



<b>Fig. 26.</b> Evolution du Fer dans l'espace (mai 2006).....	52
<b>Fig. 27.</b> Variation du cuivre dans le temps.....	53
<b>Fig. 28.</b> Evolution du Cuivre dans l'espace (septembre 2005).....	54
<b>Fig. 29.</b> Evolution du Cuivre dans l'espace (mai 2006).....	54
<b>Fig. 30.</b> Variation du Plomb dans le temps.....	55
<b>Fig. 31.</b> Evolution du Plomb dans l'espace (septembre 2005).....	56
<b>Fig. 32.</b> Evolution du Plomb dans l'espace (mai 2006).....	56
<b>Fig. 33.</b> Variation du Zinc dans le temps.....	57
<b>Fig. 34.</b> Evolution de Zinc dans l'espace (septembre 2005).....	58
<b>Fig. 35.</b> Evolution du Zinc dans l'espace (mai 2006).....	58
<b>Fig. 36.</b> Variances expliquées par les quatre axes factoriels (ACP septembre 2005).....	59
<b>Fig. 37a.</b> Représentation graphique de l'ACP de la campagne de septembre 2005 (cercle I-II).....	62
<b>Fig. 37b.</b> Représentation graphique des individus, campagne septembre 2005 (cercle I-II).....	62
<b>Fig. 38.</b> Variances expliquées par les quatre axes factoriels (ACP novembre 2005).....	63
<b>Fig. 39a.</b> Représentation graphique de l'ACP de la campagne de novembre 2005 (Cercle I-II).....	65
<b>Fig. 39b.</b> Projection des individus de la campagne de novembre 2005 (Plan I-II).....	65
<b>Fig. 40.</b> Variances expliquées par les quatre axes factoriels (ACP mai 2006).....	66
<b>Fig. 41a.</b> Représentation graphique de l'ACP de la campagne de mai 2006 (Cercle I- IV).....	68
<b>Fig. 41b.</b> Projection des individus de la campagne de mai 2006 (Plan I-II).....	68
<b>Fig. 42.</b> Variances expliquées par les quatre axes factoriels (ACP globale).....	69
<b>Fig. 43a.</b> Représentation graphique de l'ACP globale (Cercle I-II).....	71
<b>Fig. 43b.</b> Projection des individus de la campagne globale (Plan I-II).....	71
<b>Fig. 44.</b> Carte piézométrique de la nappe superficielle simulée par le modèle.....	75
<b>Fig. 45.</b> Carte piézométrique de la couche semi-perméable simulée par le modèle.....	76
<b>Fig. 46.</b> Carte piézométrique de la nappe des graviers simulée par le modèle.....	77
<b>Fig. 47.</b> Carte des perméabilités simulées de la nappe superficielle par le modèle.....	78
<b>Fig. 48.</b> Schématisation de l'évolution des teneurs en fer dans la nappe alluviale.....	80

## Table de matières

page

المخلص.....	I
Abstract.....	II
Résumé.....	III
Remerciement .....	V
Liste des tableaux .....	VI
Liste des figures .....	VII
Table de matières .....	IX
Introduction .....	1

### Chapitre I : Contexte géologique, structural et géomorphologique

<b>I.1. Introduction</b> .....	2
<b>I.2. Cadre Géomorphologique</b> .....	3
I.2.1. Les montagnes .....	3
I.2.2. la dépression de Fetzara .....	3
I.2.3. Le domaine des plaines .....	4
<b>I.3. Cadre lithostratigraphique</b> .....	4
I.3.1. Le Paléozoïque .....	4
I.3.2. Le Mésozoïque .....	5
I.3.3. Le Cénozoïque .....	5
I.3.4. le Quaternaire .....	6
<b>I.4. Cadre structural</b> .....	7
<b>I.5. Géométrie du système aquifère</b> .....	10
I.5.1. Les matériaux aquifères et leur comportement hydrogéologique .....	10
I.5.1.1. Formation hydrogéologique supérieure .....	10
I.5.1.2. Formation hydrogéologique inférieure (ou nappe profonde) .....	10
I.5.2. La Piézométrie .....	14
I.5.2.1. Inventaire des points d'eau .....	14
I.5.2.2. Etude de la piézométrie de la nappe superficielle .....	14
I.5.2.3. Evolution spatiale et temporelle du niveau piézométrique .....	15
I.5.3. Relation hydrodynamique entre la nappe superficielle et l'oued .....	18
	19

<b>I.6. Les conditions aux limites</b> .....	19
I.6.1. La nappe superficielle .....	19
I.6.2. La nappe profonde .....	19
<b>I.7. Conclusion</b> .....	

## **Chapitre II : Caractéristiques climatologiques**

	21
<b>II.1. Introduction</b> .....	21
<b>II.2. Climatologie de la zone d'étude</b> .....	22
II.2.1. Les facteurs climatiques .....	22
II.2.1.1. Les précipitations .....	24
II.2.1.2. La température .....	25
II.2.1.3. L'humidité .....	26
II.2.1.4. Le vent .....	26
<b>II.3. Le bilan hydrique</b> .....	26
II.3.1. Estimation de l'évapotranspiration potentielle et réelle .....	26
II.3.1.1. Formule de turc .....	27
II.3.1.2. Formule de Thornthwaite (bilan d'eau) .....	30
<b>II.4. Réseau hydrographique</b> .....	32
<b>II.5. Conclusion</b> .....	

## **Chapitre III : Hydrochimie**

	33
<b>III.1. Introduction</b> .....	33
<b>III.2. Différentes origines de la pollution des eaux</b> .....	35
III.2.1. Rejets industriels.....	35
III.2.2. Rejets urbains .....	35
III.2.3. Influence de l'agriculture.....	35
<b>III.3. Méthode de prélèvement et de conservation des échantillons</b> .....	35
III.3.1. Matériels et méthodes d'analyse.....	35
III.3.1.1. Les paramètres physico-chimiques .....	35
III.3.1.2. Les paramètres organiques .....	35
III.3.1.3. Les métaux lourds .....	35

III.3.1.4. Les éléments majeurs .....	37
III.4.3. Résultats et interprétations .....	37
III.4.1. Variation des paramètres physiques .....	37
III.4.1.1. Variation du pH .....	37
III.4.1.2. Variation du potentiel d'oxydoréduction .....	38
III.4.1.3. Variation de la température .....	38
III.4.1.4. Variation de la conductivité électrique .....	43
III.4.2. Evolution des éléments chimiques dans l'eau .....	43
III.4.2.1. Variation des éléments majeurs.....	43
III.4.2.1.1. Degré hydrotimétrique .....	43
III.4.2.1.2. La variation de la teneur en calcium .....	44
III.4.2.1.3. La variation de la teneur en Mg .....	44
III.4.2.1.4. Variation de la teneur en HCO <sub>3</sub> .....	44
III.4.2.1.5. Variation de la teneur en SO <sub>4</sub> .....	46
III.4.2.1.6. Variation de la teneur en phosphates PO <sub>4</sub> .....	46
III.4.2.1.7. Variation de la concentration en NO <sub>2</sub> .....	46
III.4.2.1.8. Variation de la concentration en Na et Cl .....	48
III.4.2.2. Variation des métaux lourds dans les eaux .....	48
III.4.2.2.1. Variation de concentration en Chrome .....	50
III.4.2.2.2. Variation de la teneur en Fer total.....	52
III.4.2.2.3. Variation de la concentration en Cuivre.....	54
III.4.2.2.4. Variation de la concentration en plomb .....	55
III.4.2.2.5. Variation de la concentration en Zinc.....	58
<b>III.5. Analyse en composantes principales (ACP) .....</b>	<b>59</b>
III.5.1. ACP de la campagne de septembre 2005 .....	63
III.5.2. ACP de la campagne de novembre 2005.....	66
III.5.3. ACP de la campagne de mai 2006 .....	69
III.5.4. L'ACP globale .....	
<b>III.6. Mise en évidence des interactions nappe-oued à l'aide d'un modèle mathématique (Modflow).....</b>	<b>72</b>
III.6.1. Cadre hydrogéologique du domaine étudié .....	73
III.6.2. Modélisation des écoulements souterrains.....	73
III.6.2.1. Données d'entrée .....	74

III.6.2.2. Phase de calage .....	
III.6.2.3. Ajustement des valeurs de perméabilité et du coefficient d'emmagasinement.....	74 79
III.6.2.4. Mise en évidence des interactions oued Meboudja-nappe alluviale .....	79
III.6.2.5. Exemple de l'évolution des teneurs en fer .....	81
<b>III.7. Conclusion</b> .....	<b>82</b>
• <b>Conclusion générale et recommandations</b> .....	<b>85</b>
• <b>Références bibliographiques</b> .....	

# INTRODUCTION

L'augmentation dynamique de la production industrielle et agricole avait évidemment amélioré la vie de l'homme en lui fournissant le confort et le bon rendement, mais aussi, malheureusement, a conduit en même temps à une détérioration rapide de sa première Source de vie **"l'eau"**.

A cause de sa vocation industrielle et agricole, qui favorise l'exode rural continu, la ville de Annaba est devenue une très grande utilisatrice de l'eau, cette eau qui ne cesse de perdre sa bonne qualité.

Dans cette étude nous avons essayé de faire le point sur l'état de la pollution des eaux de l'oued Meboudja et des deux nappes : la nappe superficielle et profonde à travers les trois chapitres suivants :

- Dans le **premier chapitre** nous analyserons le contexte général de la région d'étude sous différents points de vue : géomorphologique, géologique et structural. Nous évoquerons également dans le même chapitre les caractéristiques géométriques et hydrodynamiques des deux nappes.
- Dans le **deuxième chapitre** nous essayerons de définir les caractéristiques hydroclimatologiques et d'évaluer les différents termes du bilan hydrique pour pouvoir donner une estimation de la réserve en eau de la nappe.
- Enfin le **troisième chapitre** sera consacré dans une première partie, à l'étude des caractéristiques hydrochimiques des eaux de l'oued Meboudja, de la nappe superficielle et de la nappe de graviers où nous suivrons l'évolution spatiale et temporelle de la pollution dans l'eau et d'essayer également de déterminer l'origine de la pollution. Dans la deuxième partie nous essayerons par un modèle mathématique le Modflow de distinguer les zones de différence perméabilités, de localiser les couches argileuses favorisant les conditions réductrices dans la nappe superficielle et de faire le point sur les éventuelles interactions nappe-oued Meboudja.

# CH I : Contexte Géologique, Structural et Géométrique

## I.1. Introduction :

Les aquifères de la région de Annaba occupent une superficie de près de 500 km<sup>2</sup>. La région, située au nord-est de l'Algérie, est bordée au Nord par la mer Méditerranée, à l'Est par les marécages de Mekrada, à l'Ouest par le massif de l'Edough, dominant Annaba, et par le lac Fetzara situé plus au Sud. Elle est limitée au Sud par le prolongement oriental de la chaîne numidique (Monts de la Cheffia et d'El-Kala). Elle constitue la basse plaine des oueds Ressoul et Seybouse (fig. 1).

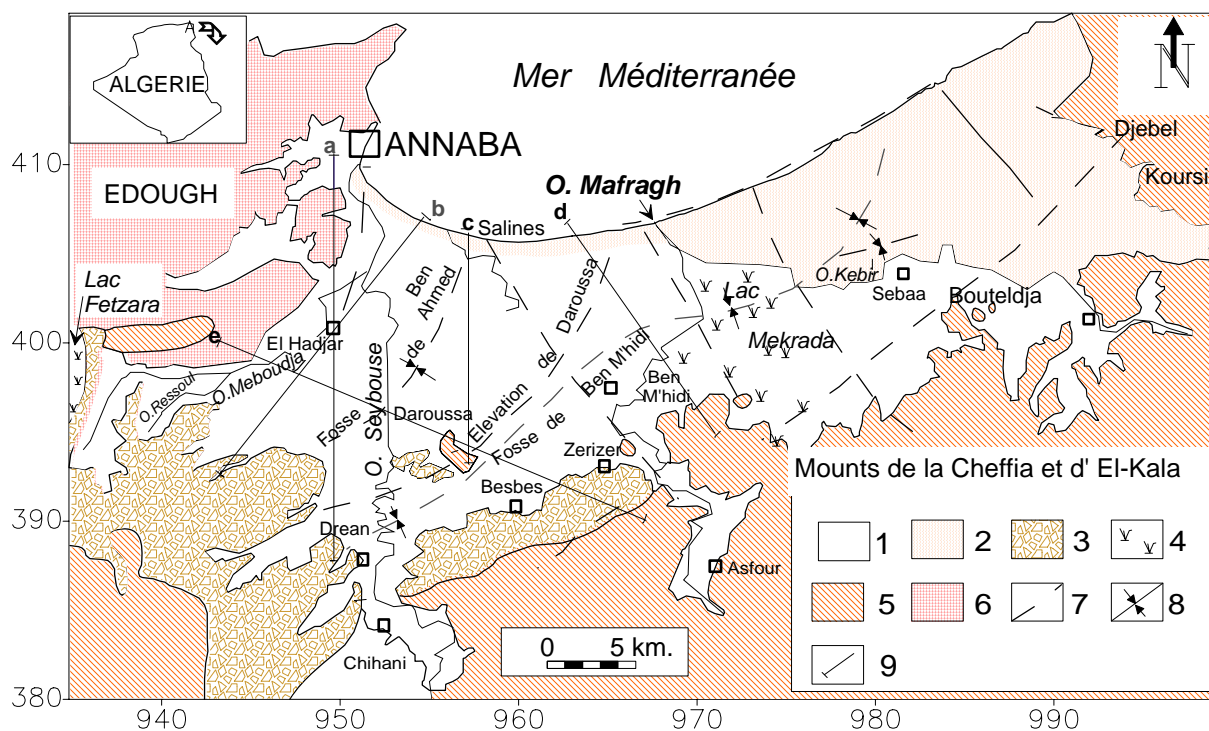


Fig. 1. Situation géographique et géologique des plaines de la région de Annaba-Bouteldja (d'après Strojexport, 1975, modifié).

Légende : 1 : Alluvions récentes et actuelles ; 2 : Dunes; 3 : Alluvions anciennes; 4 : Marécage ou lac ; 5 : Grés et argile numidiens ; 6 : Formations métamorphiques ; 7 : Faille ; 8 : Axe des fosses ; 9 : Tracé de coupe.

## **I.2. Cadre Géomorphologique :**

Trois formes morphologiques sont présentes dans la région d'étude:

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

### **I.2.1. Les montagnes :**

#### **A/ L'Edough :**

C'est le massif principal qui caractérise la région de Annaba. De plus de 1008 m, il s'élève brusquement au dessus des autres reliefs qui l'entourent. Sa masse principale de direction N 55°-E, présente une ligne de crête longue de 26 m qui débute depuis le lac de Fetzara au sud et s'élève progressivement jusqu'au point culminant (1008 m) à Kef Sebaa pour redescendre ensuite depuis Seraidi vers Cap de Garde au Nord.

Au sud, ce massif est flanqué par le Djbel Boukantas (511 m) et Belilieta (287 m) et se prolonge vers Annaba par le petit massif de Boukhadra (156 m).

#### **B/ 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 où 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.2.2. la dépression de Fetzara :**

La dépression de lac Fetzara est séparée de la plaine de Guerbes par les petit massif 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.2.3. Le domaine des plaines :**

► *La plaine de Annaba* : C'est la plaine drainée par les deux oueds le Seybouse au sud et le 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).

► *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. Cadre lithostratigraphique :**

Les études géologiques réalisées dans la région (Joleaud, 1936 ; Hilly, 1962 ; Vila, 1980 ; Lahondère, 1987 ; Gleizes, 1988 ; Hammor, 1992) montrent l'existence de deux types de terrains : à savoir le complexe métamorphique de l'Edough et les formations sédimentaires d'âge Secondaire-Tertiaire (fig. 1) l'échelle stratigraphique de ces terrains se répartit du Paléozoïque au Quaternaire :

#### **I.3.1. Le Paléozoïque :**

Il est constitué essentiellement par des gneiss ceinturés et des micaschistes (Hilly, 1962 ; Caby, 1992 ; Ahmed-Said, 1993) qui affleurent à l'ouest dans les massifs de l'Edough, de Belilieta et de Boukhadra.. On peut distinguer les trois séries superposées suivantes :

- La série inférieure, représentée par des gneiss riches en biotite et sillimanite d'une épaisseur moyenne de 70 m, constituant le cœur de l'anticlinal du massif de l'Edough ;

- La série intermédiaire, caractérisée par des schistes et des micaschistes riches en biotite, muscovite et du grenat et 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 skarns ;
- La série supérieure, constituée par un ensemble de gneiss ocellés, schistes satinés, micaschistes, grenats et amphibolites.

Les accidents tectoniques qui ont affecté le massif de l'Edough est affectée par deux familles d'accidents tectoniques, la première est de direction NW-SE et la seconde qui semble être conjuguée à ma première, est dirigée NE-SW.

### **I.3.2. Le Mésozoïque :**

Il affleure au sud à une quarantaine de km de la zone d'étude, au niveau de la région de Guelma et de Bouchegouf. Il est constitué par :

- le Trias, représenté par une association de dolomies, calcaires dolomitiques et de gypse ;
- le Jurassique, formé par des dolomies noires et des schistes calcaireux ;
- le Crétacé qui comporte des calcaires dolomitiques riches en foraminifères et des débris de rudistes.

Seul le Crétacé supérieur (Sénonien) est représenté au sud de la région, il occupe presque la totalité des monts de la Cheffia. Il est caractérisé par un faciès schisteux plus au moins argileux. Parfois il s'agit aussi d'un passage de calcaire avec alternance de marnes ou de microbrèches épais de 5 à 10 cm.

### **I.3.3. Le Cénozoïque :**

Il est représenté par :

- *l'Eocène inférieur* représenté par une série transgressive formée par des calcaires massifs à faciès épinéritique ;
- *l'Oligocène* qui comporte des niveaux d'argiles numidiennes rencontrées dans toute la partie Sud de la région d'étude (Monts de la Cheffia), au Sud-Est de Bouteldja et dans les djebels Koursi, Bourdim et Oum El-Agareb. Ce faciès argileux, de couleur verdâtre, brunâtre ou bleu sombre, comprend parfois des intercalations de lentilles gréseuses pouvant aller d'un cm à 30 cm d'épaisseur. Localement, quartziteux et renfermant parfois de petits nodules de pyrite, l'ensemble des formations peut atteindre plus de 100m d'épaisseur. Ces argiles,

formant la base de la série numidienne, ont été datées de l'Oligocène moyen à supérieur (Lahondère, 1987). Au-dessus de ces formations argileuses viennent se superposer les grès numidiens en position allochtone d'âge aquitanien (Rouvier in Ramdani, 1996), à grains hétérométriques allant du grain grossier au grain fin. Ces grès, épais de près de 150m, sont bien représentés au sud de la région d'étude, à l'Est dans le djebel Bourdim et au nord-est dans le djebel Koursi. Ils ceignent les formations alluvionnaires et surtout dunaires.

- **le Mio-Pliocène** représenté par les faciès suivants :

➤ *faciès marin (Plaisancien)* ; caractérisé par des marnes bleues avec des intercalations calcaires ;

➤ *faciès continental* : caractérisé par des conglomérats des grès et des argiles qui sont liés aux dépôts des fosses d'effondrement et qui constituent le réservoir de la nappe captive des plaines de Annaba –Bouteldja..

➤ *faciès fluviatile* ; bien développé dans la plaine d'Annaba, il est formé essentiellement de galet, de sable et d'argile le long des Oueds ;

En effet, la prospection par sismique réflexion a mis en évidence l'existence de deux fosses (Sonatrach, 1969 ; Strojexport, 1975) :

- la fosse de Ben-Ahmed, orientée S-N,

- la fosse de Ben-M'hidi, orientée SW-NE.

Ces deux fosses sont séparées par le haut fond de Daroussa (ou élévation de Daroussa), cet effondrement s'est produit au cours du Mio-Pliocène.

#### **I.3.4. le Quaternaire :**

Les formations dunaires et alluvionnaires d'âge quaternaire constituent la roche réservoir du de l'aquifère de Annaba. On y distingue :

-*Les formations des hautes terrasses* : correspond à la nappe superficielle dont le matériau est composé de sables, d'argiles, de graviers et de conglomérats de petite taille dominant cette formation.

- Les formations de la basse et la moyenne terrasse.

➤ La moyenne terrasse est représentée par des terrasses alluvionnaires des oueds de 20m, correspond aussi à la terre cultivable (terre, argile, sable).

➤ Basse terrasse est formée par des alluvions du niveau des eaux actuelles des oueds. Ces terrasses sont plus limoneuses que sableuses et sont parsemées de marécages.

- Les formations alluvionnaires sont représentées par des dépôts du lit actuel de l'Oued, généralement de matériaux variés, argiles, sables et des cailloux, résultant de l'érosion des formations traversées par l'Oued.

-Le cordon dunaire représenté par un massif constitué essentiellement de sable d'origine marine. Il affleure largement entre le village de Chatt et la ville d'El-Kala.

#### I.4. Cadre structural :

La Plaine de Annaba, aux reliefs très peu marqués est constituée par des dépôts récents qui forment le comblement de deux bassins sédimentaires principaux, identifiées par la géophysique (Sonatrach, 1966 ; Strojexport, 1975) avec un graben NS, la fosse Ben-Ahmed, sous la plaine de la Seybouse, et un graben SSW-NNE à WSW-ENE, la fosse Ben-M'hidi, sous celle de l'oued Kébir et le massif dunaire oriental (fig. 2). Ces deux fosses sont limitées par des failles à très forts pendages (60 à 80°) et séparées par un horst, subméridien, représenté par l'élévation de Daroussa à laquelle appartient, dans la partie méridionale, la Butte de Daroussa.

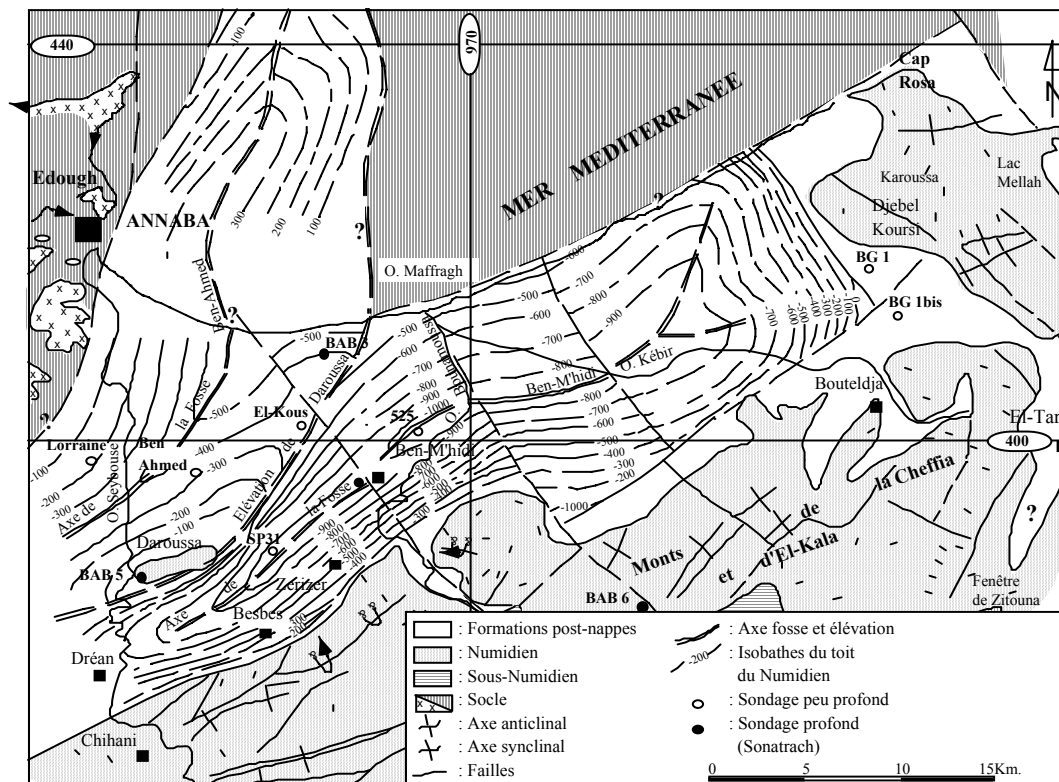


Fig. 2. Esquisse structurale des plaines de Annaba-Bouteldja (Sonatrach, 1969 in Hani, 2003, modifiée).

Dans le remplissage très hétérogène des deux fosses, A. Hani dans sa thèse (2003) a pu schématiquement (fig. 3) mettre en évidence quatre faciès principaux avec, à la base, une couche de marnes miocènes d'une épaisseur qui dépasse 150 m surmontée par 60 à plus de 100 m d'argiles détritiques plio-quadernaires, puis par des lentilles de graviers et de galets séparées par de fines couches d'argiles. Ces dernières sont elles-mêmes recouvertes par des argiles sableuses (0 à 70 m). Dans le secteur NE de la région, une épaisse couche de sable dunaire se superpose aux formations antérieures.

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

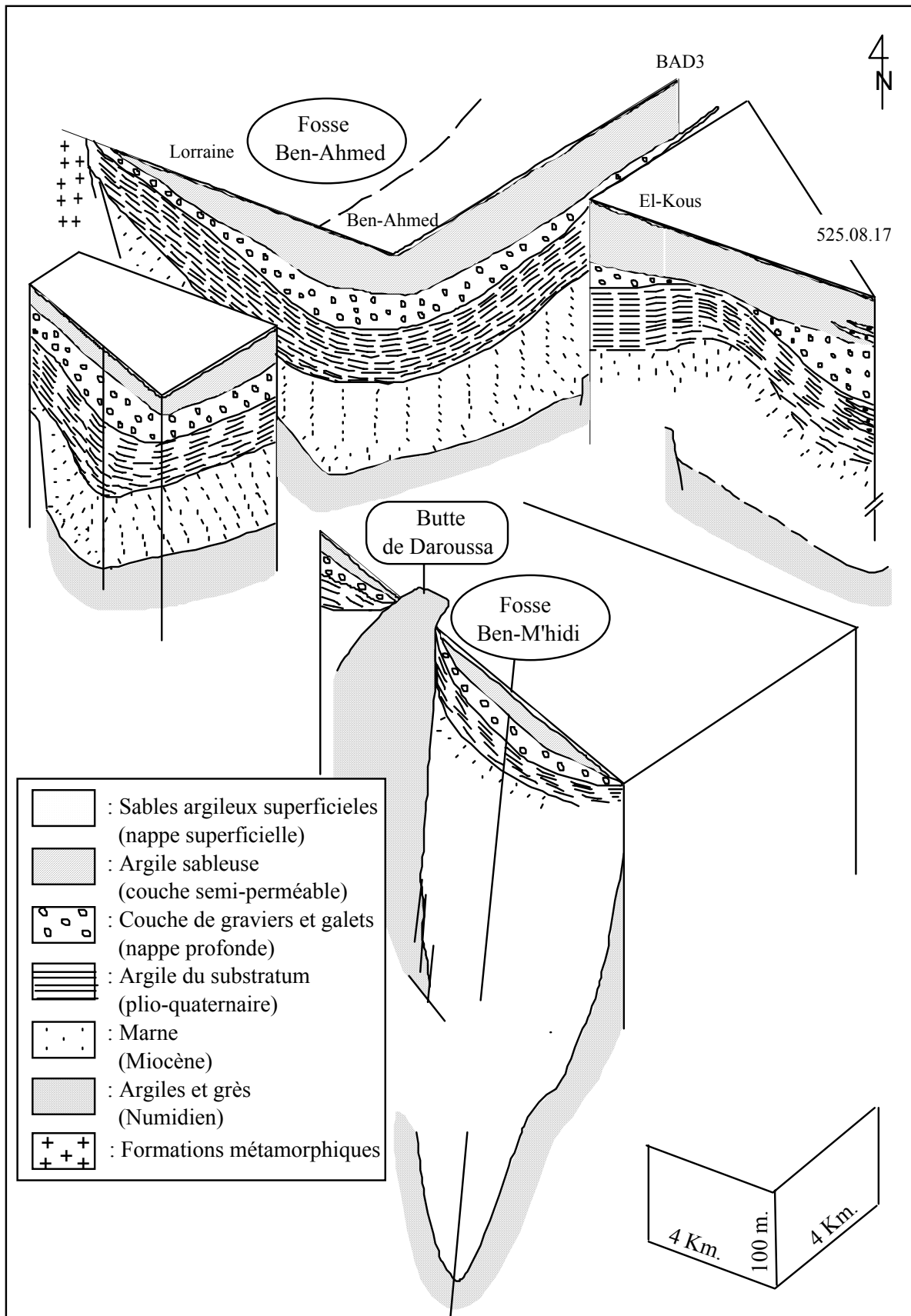


Fig. 3. Bloc diagramme au travers de la plaine de Annaba (Hani, 2003).

## **I.5. Géométrie du système aquifère :**

Après avoir fait la connaissance de la nature géologique des différentes formations qui constituent le réservoir du système aquifère de Annaba nous pouvons passer à l'identification de la géométrie des principales nappes.

### **I.5.1. Les matériaux aquifères et leur comportement hydrogéologique :**

Le système aquifère est constitué de sédiments mio-pliocènes et quaternaires comblant les deux fosses décrites précédemment et dont le remplissage s'est effectué de manière hétérogène (fig. 4), formant une alternance d'argile sableuse, de sable, de graviers et de travertins, où l'on distingue les formations hydrogéologiques suivantes:

#### **I.5.1.1. Formation hydrogéologique supérieure :**

Cette nappe est contenue dans des formations sablo-argileuses incluant des lentilles de sables. Le substratum est constitué par des argiles grises compactes. La répartition des lentilles sableuses est mal connue à cause de leurs faibles extensions, cependant, elles sont plus fréquentes à proximité de l'oued Seybouse, et à la périphérie des affleurements des grès numidiens. La nappe phréatique est globalement libre, sauf en quelques points où elle est captive sous des niveaux d'argiles. L'épaisseur de cette nappe varie de 0 à 18 m (Fig. 5 a et b). L'interprétation des données de pompage effectué dans la nappe phréatique a permis de fixer un ordre de grandeur de la transmissivité qui varie de  $2 \cdot 10^{-6}$  à  $8 \cdot 10^{-5}$  m<sup>2</sup>/s (Gaud, 1976). Une étude faite par N. Zenati (1999) sur la perméabilité verticale du sol, montre que la zone d'étude est caractérisée par un sol moyennement perméable de  $10^{-6}$  à  $5 \cdot 10^{-5}$  m/s.

#### **I.5.1.2. Formation hydrogéologique inférieure (ou nappe profonde) :**

##### **I.5.1.2.1. Nappe des graviers :**

Les formations de la nappe sont marquées par une alternance de couches grossières de graviers et galets et de couches argilo-sableuses. Cet empilement plus au moins régulier est lié au remplissage hétérogène des fosses de Ben Ahmed et de Ben M'hidi. Les isolignes des (fig. 5d) révèlent un affleurement des niveaux graveleux au Sud de Dréan et de Asfour. Ces niveaux se trouvent en effet à une profondeur de 8 à 14 m et plongent vers le Nord pour

atteindre 100 m environ en bordure de mer. L'épaisseur des graviers et galets est très variable, elle passe de quelques mètres en bordure ouest du système, à près de 25 m selon l'axe de la fosse de Ben Ahmed, orientée Sud-Nord, puis elle diminue à moins de 10 m sur l'élévation de Daroussa. Elle croît de nouveau à 80 voir 90 m selon l'axe de la fosse de Ben M'Hidi d'orientation sud-ouest – nord-est. En bordure des massifs numidiens de Bouteldja, l'épaisseur des graviers atteint près de 20 m. En ce qui concerne les paramètres hydrauliques, les valeurs obtenues à partir des pompages d'essais réalisés dans le secteur d'étude (Djabri et al, 2000), sont caractéristiques d'un aquifère semicaptif à captif ; les valeurs de transmissivités étaient comprises entre  $1.0 \cdot 10^{-3}$  et  $4.5 \cdot 10^{-2}$  m<sup>2</sup>/s, tandis que le coefficient d'emmagasinement variait entre  $10^{-3}$  à  $10^{-4}$ .

Ces deux nappes sont généralement séparées par un horizon semi-perméable d'une épaisseur variable passant de 0 m sur les bordures Sud et ouest à plus de 75 m dans la partie côtière de l'aquifère (fig. 5c). Cette couche joue un rôle important dans le transfert de pollution de surface vers la nappe vu que la perméabilité varie de  $10^{-6}$  à  $10^{-7}$  m/s.

#### ***1.5.1.2.2. Nappe des cipolins :***

Elle est limitée par les massifs de bordure de Belilieta et Boukhadra. Ce sont des lentilles de calcaires cipolins existants au sein des gneiss et des micaschistes des deux massifs.

Cette nappe est exploitée par plusieurs forages et puits. Elle présente les caractéristiques suivantes : son débit varie de 0.3 à 15 l/s, sa transmissivité oscille entre  $5 \cdot 10^{-5}$  et  $10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s et sa perméabilité de  $10^{-6}$  à  $10^{-5}$  m/s (Zenati, 1999).



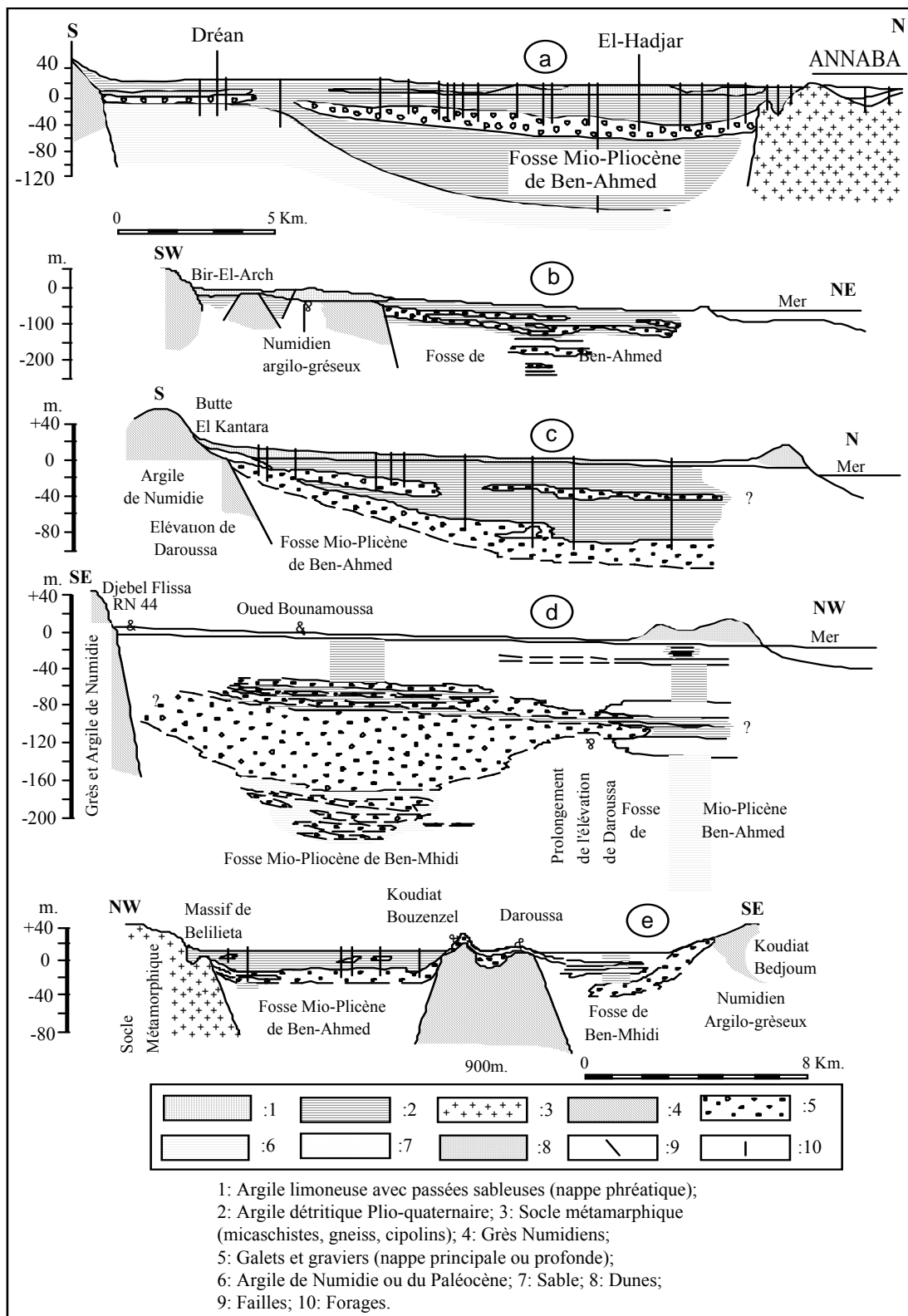


Fig. 4. Coupes au travers de la plaine de Annaba (ANRH, 1976, in Hani, modifiées).

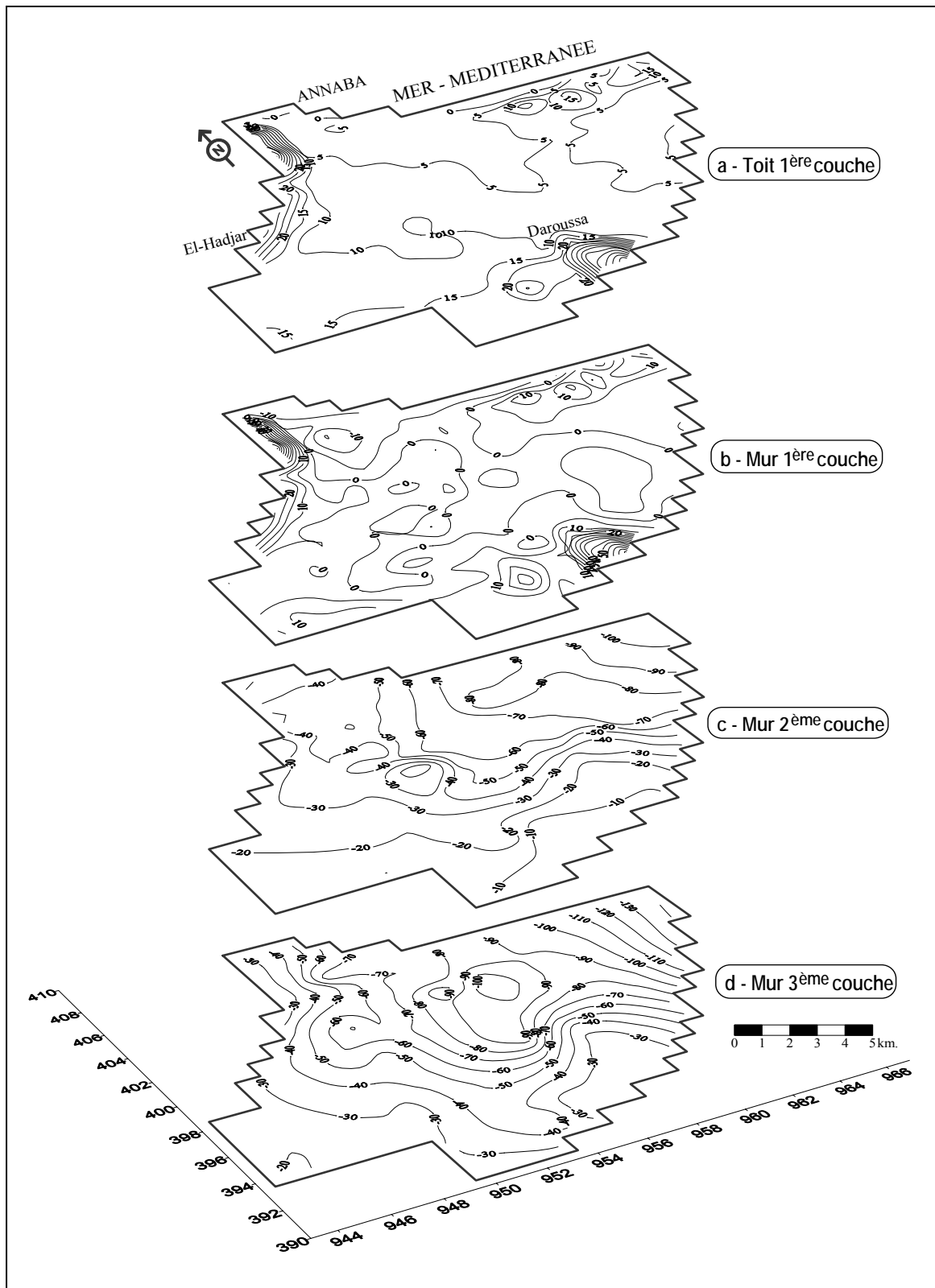


Fig. 5. Carte des isolignes des différentes couches du système aquifère

## I.5.2. La Piézométrie :

### I.5.2.1. Inventaire des points d'eau :

L'accroissement des besoins en eau des populations, des industries et surtout de l'agriculture allié à un déficit pluviométrique a engendré une sollicitation intensive des ressources en eau souterraines, d'où la nécessité de recourir au captage des eaux souterraines pour satisfaire ces besoins.

Dans cette étude, nous avons sélectionné 18 puits domestiques, 3 forages et 5 points de prélèvement des eaux de l'oued Meboudja pour réaliser des relevés piézométriques durant une période de 10 mois (août 2005 à mai 2006) (fig. 6).

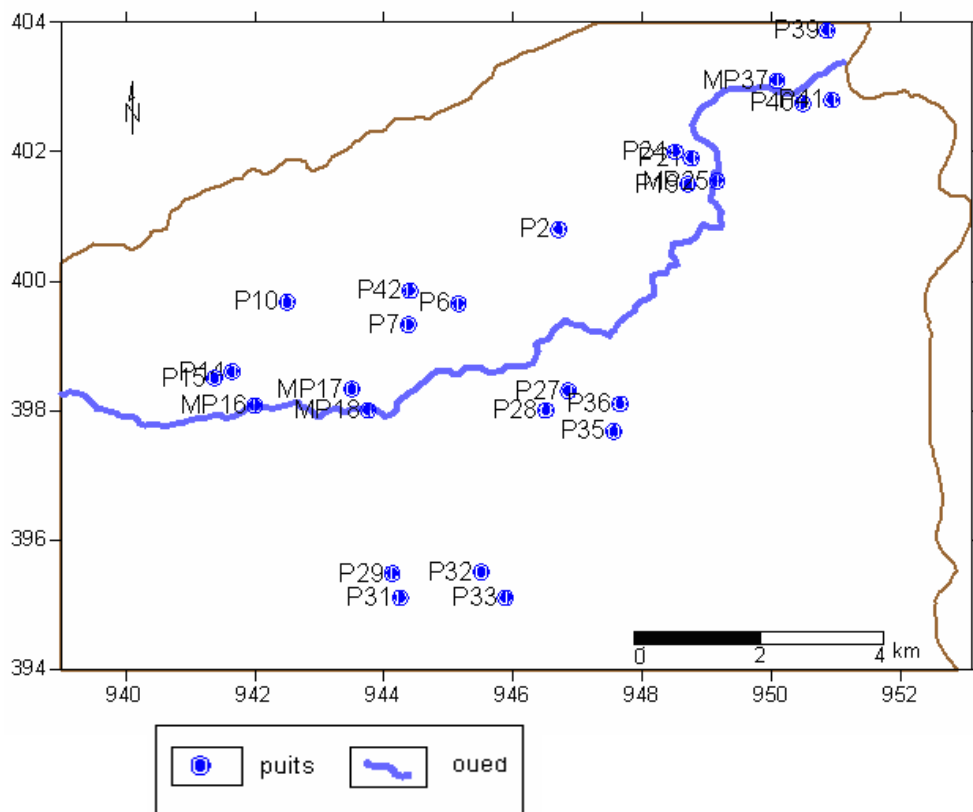


Fig. 6. Carte d'inventaire des points d'eau

### I.5.2.2. Etude de la piézométrie de la nappe superficielle :

Les cartes piézométriques sont les documents de base de l'analyse et de la schématisation des fonctions captives et conductrices du réservoir et du comportement hydrodynamique de l'aquifère ainsi que la connaissance des conditions aux limites (G.Castany, 1982).

Dix campagnes piézométriques ont été réalisées dans la région. On s'intéressera à celles qui se rapportent au mois d'août 2005 (période des basses eaux) et au mois de mai 2006 (période des hautes eaux).

L'examen des deux cartes piézométriques révèle les mêmes constatations donc les mêmes caractéristiques, ceci nous amène à se contenter de l'interprétation d'une seule carte (mai 2006) (fig. 7).

Les courbes piézométriques sont fermées et serrées dans la partie amont de l'oued Meboudja, traduisant une zone de protubérance due à un apport latéral à partir du socle métamorphique. Le gradient hydraulique  $y$  est de l'ordre de  $5 \cdot 10^{-2}$ , il marque un écoulement rapide dû à la pente. Vers la partie aval de l'oued ainsi que vers le centre de la plaine, les courbes deviennent ouvertes et espacées. Le gradient hydraulique  $y$  est de  $8 \cdot 10^{-4}$ .

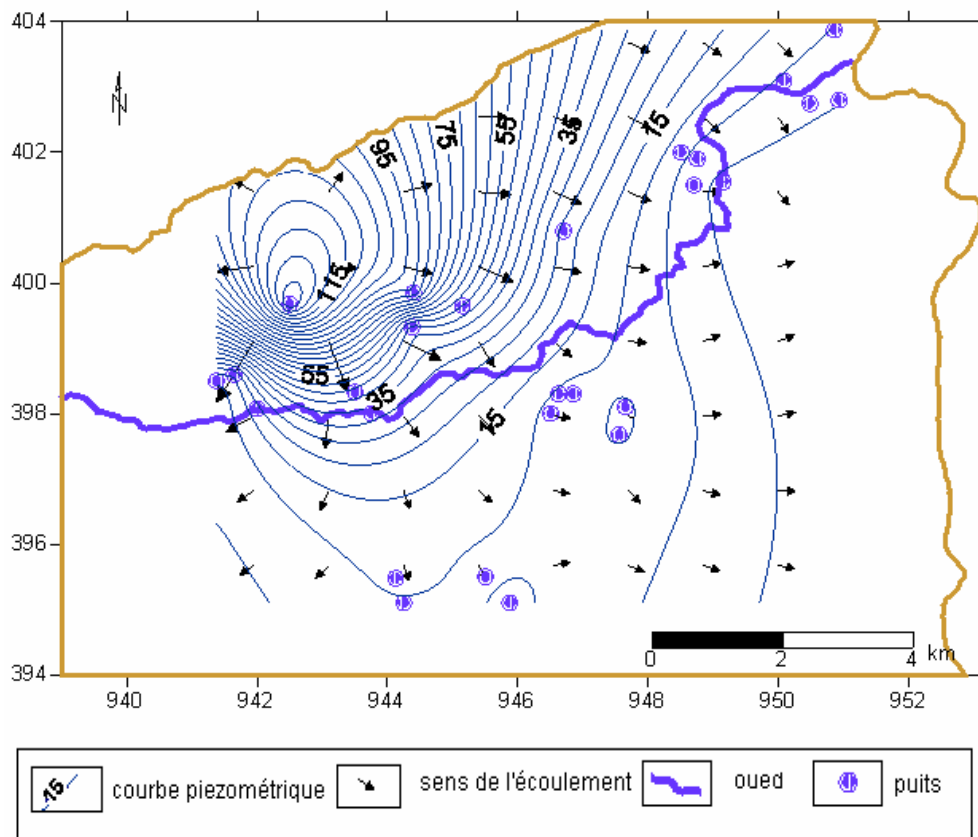


Fig. 7. Carte piézométrique de la nappe superficielle de la plaine de Annaba, mai 2006

### **I.5.2.3. Evolution spatiale et temporelle du niveau piézométrique :**

La variation du niveau piézométrique est fonction de plusieurs paramètres, parmi lesquelles les précipitations (fig. 8). Elle présente dans l'ensemble des puits une augmentation à partir du mois d'octobre, où la nappe commence à se recharger, pour diminuer progressivement à partir du mois de mars dans les puits P14, P29 et P24. Pour le puits P21, la diminution brusque est due à l'effet du pompage. Concernant les puits P32, P33, P27 et P36, l'évolution est peu sensible, elle est due probablement à la présence des lentilles argileuses qui retarde l'infiltration.

La variation du niveau piézométrique dans le puits P10 ne suit pas l'évolution saisonnière de la pluie à cause vraisemblablement de son utilisation par les habitants du secteur.

L'augmentation remarquée dans les puits P24, P29 et P24 au mois de mai est due probablement à l'alimentation de la nappe à partir de l'oued.

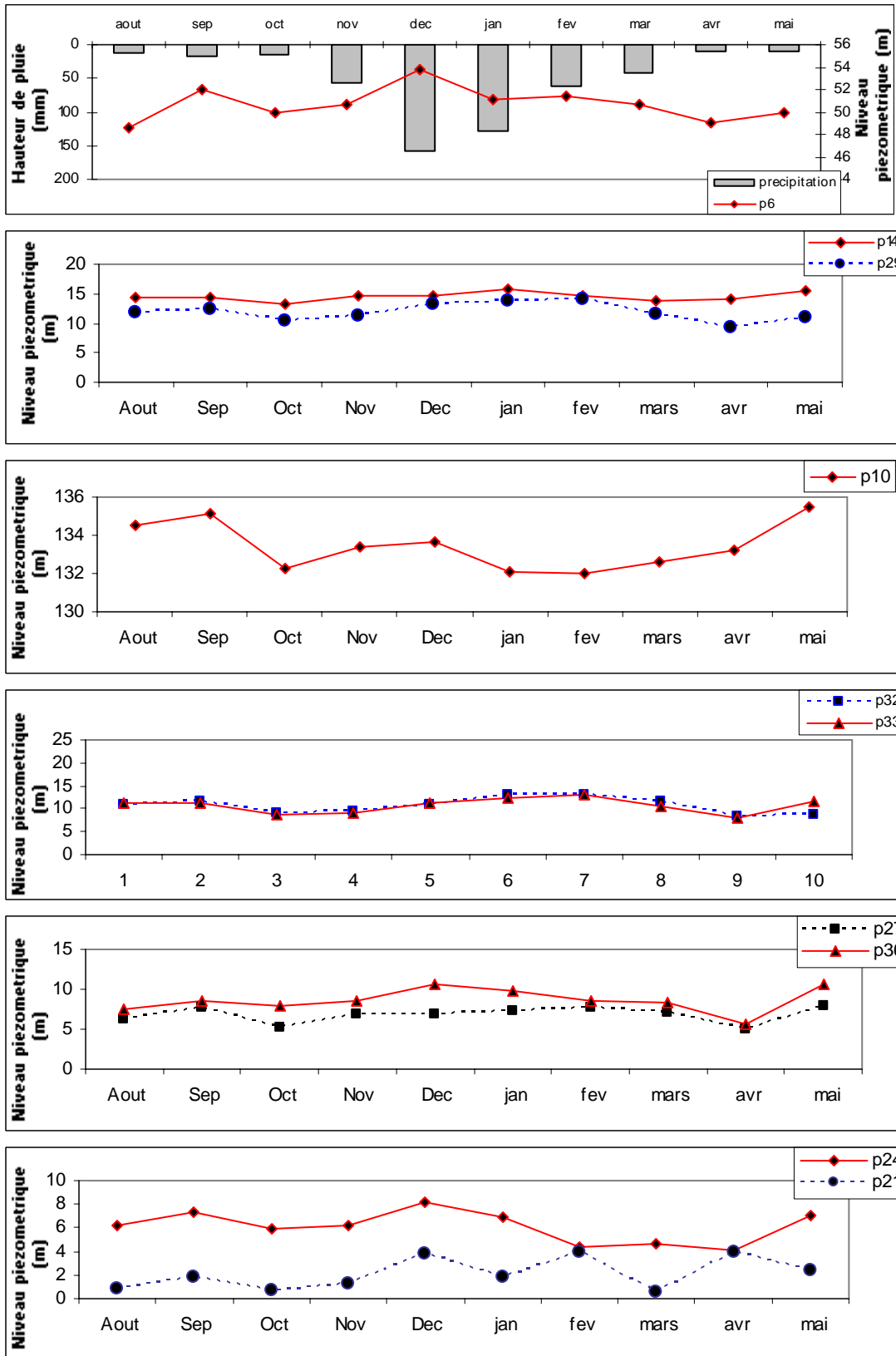


Fig. 8. Variation du niveau piézométrique dans l'espace et dans le temps

### I.5.3. Relation hydrodynamique entre la nappe superficielle et l'oued :

La représentation graphiques du niveau piézométrique de la nappe superficielle ainsi que la côte du niveau d'eau dans l'oued Meboudja, montre une relation nette entre les deux et qui est identique dans les trois graphiques (fig. 19a, b, c) correspondants à trois périodes différentes (Août et Décembre 2005 et Mai 2006). Dans la partie amont, où la position des puits est caractérisée par une topographie élevée, le niveau piézométrique de la nappe est supérieur à celui de l'oued, on peut dire que ce dernier draine la nappe. Par contre, vers la partie avale, c'est le niveau de l'oued qui dépasse celui de la nappe, traduisant ainsi une alimentation descendante de l'oued vers la nappe.

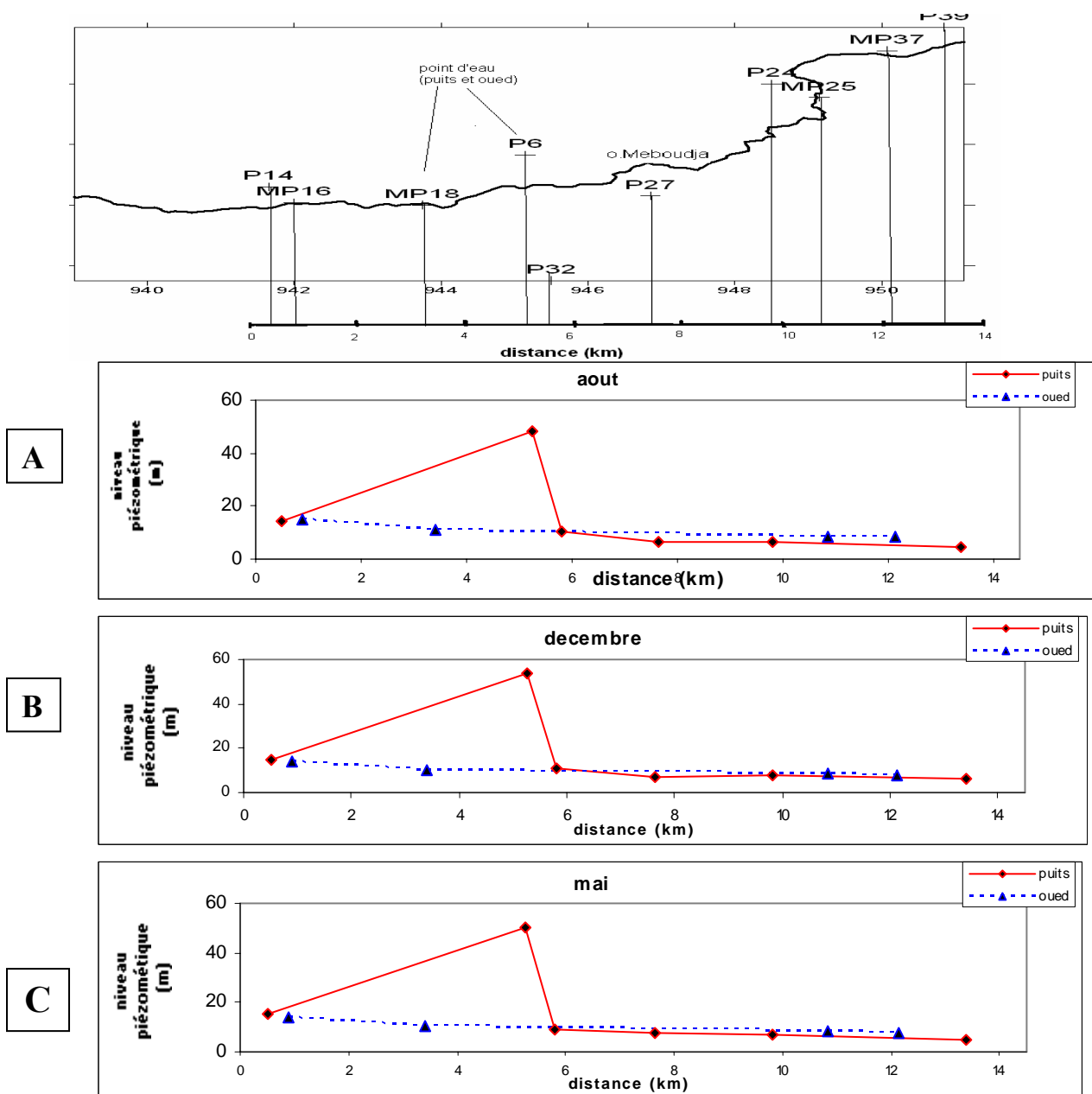


Fig. 9. Relation hydrodynamique entre l'oued et la nappe superficielle

## **I.6. Les conditions aux limites :**

### **I.6.1. La nappe superficielle :**

La nappe superficielle s'étend sur toute la zone d'étude. Au Nord, le long de la cote, elle est limitée par le cordon dunaire qui contient une nappe à charge élevée et qui constitue une limite à potentiel imposé. La limite à l'ouest est constituée par le massif de l'Edough. Au sud Ouest dans les bourrelets dunaires du lac Fetzara, une crête piézométrique forme une ligne de partage des eaux entre le lac et la nappe. Au Sud, et dans la zone comprise entre l'oued seybouse et l'oued Bounamoussa sur la bordure des argiles numidiennes, une alimentation par les grés est probable lorsque leur pendage tend vers la plaine. A l'est, la nappe superficielle est limitée « artificiellement » par une bordure correspondant approximativement à la ligne de partage entre le bassin de la Seybouse et celui de la Bounamoussa.

### **I.6.2. La nappe profonde :**

Au Nord, la nappe est limitée par la mer Méditerranée qui constitue une limite à potentiel imposé. A l'Ouest les formations métamorphiques constituent une limite à flux entrant. Au Sud Ouest, la nappe reçoit des apports assez significatifs en provenance du lac Fetzara ; c'est donc une limite à flux entrant. En revanche, les isopièzes sont toujours perpendiculaires aux bordures situées à l'extrême sud-ouest de la plaine. A l'Est, le comportement des mailles représentant l'élévation de Daroussa doit être caractérisé pour une bonne représentation du système hydrogéologique. Une hypothèse classique est de considérer la bordure Est comme condition à flux nul, notamment à proximité de la butte, compte tenu de la nature imperméable des formations mio-pliocènes correspondant au relèvement du substratum et de l'amincissement des couches de graviers dans ce secteur. Une autre hypothèse lorsque manifestement l'on constate que les isopièzes montrent presque toujours la même allure avec une alimentation du domaine étudié par les niveaux de graviers de la fosse Ben-M'hidi à travers le horst de Daroussa.

## **I.7. Conclusion :**

La région d'étude fait partie de l'ensemble géologique du Tell Algérien Nord Oriental. Elle présente des affleurements de terrains métamorphiques et des roches éruptives constituant la bordure Ouest et des terrains sédimentaires caractérisant la bordure sud et l'ensemble de la plaine Annaba- Bouteldja.



Les formations du mio-plio-quaternaire de la plaine de Annaba comblant une zone d'effondrement favorisent l'existence d'un système aquifère à potentiel hydraulique considérable.

L'étude géométrique confirme l'extension et la superposition de la nappe superficielle et profonde qui sont séparées par un niveau semi-perméable. Celui ci disparaît au sud de la plaine laissant se confondre les deux nappes.

La cartographie piézométrique et l'étude de l'évolution du niveau piézométrique permettent de définir le sens de l'écoulement souterrain et ont mis en évidence la relation qui existe entre l'oued et la nappe. Concernant la plaine de l'oued Meboudja, les relevés piézométriques effectués montrent que l'oued draine la nappe dans le secteur amont (région de Derradji Redjem) alors que dans le secteur aval c'est la nappe qui draine l'oued.

L'hydrodynamique de la nappe superficielle est influencée par le pompage et par les conditions aux limites. La transmissivité de la nappe superficielle oscille entre  $2 \cdot 10^{-2}$  et  $8 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ , celle de la nappe captive varie entre  $10^{-3}$  à  $4.5 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$  et son coefficient d'emmagasinement est compris entre  $10^{-4}$  et  $10^{-3}$ . Les perméabilités verticales du sol variant entre  $10^{-6}$  à  $5 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$ . rendent la nappe superficielle vulnérable à la pollution.

# CH II : Caractéristiques hydroclimatologiques

## II.1. Introduction :

Afin de mieux comprendre l'évolution des éléments chimiques et des réserves des eaux souterraines et de surface, l'étude des conditions climatiques et des caractéristiques hydrodynamiques demeure indispensable.

## II.2. Climatologie de la zone d'étude :

Comptant parmi les régions les plus arrosées de l'Algérie (fig.10), la zone d'étude est soumise à un climat méditerranéen caractérisé par un hiver doux et humide et un été chaud et sec et dont le régime dépend principalement de la précipitation et de la température.

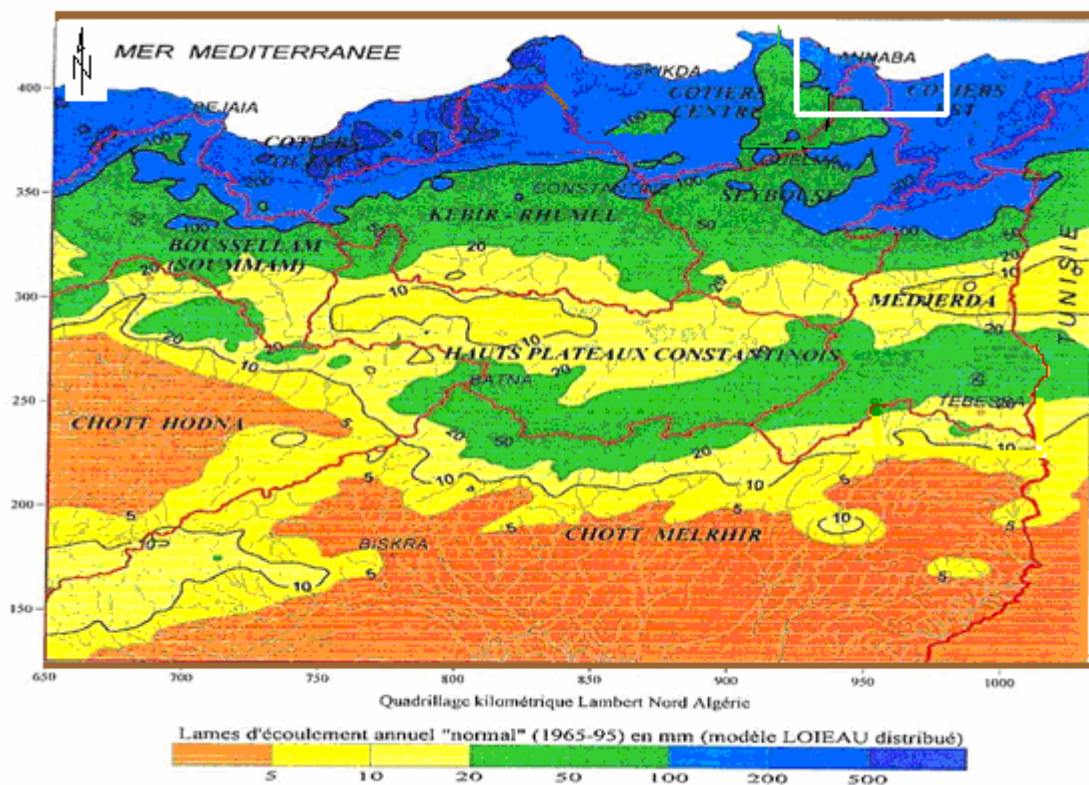


Fig. 10. Ecoulements interannuels moyens dans la zone d'étude (1965-1995)

Parmi les stations pluviométriques implantées dans la plaine de Annaba, on s'est contenté des données pluviométriques des trois stations : les Salines, Pont Bouchet et El Karma (Tableau

1) du fait de leur situation par rapport à la zone d'étude. Les données s'étalent sur la période de 1982 jusqu'à juin 2005.

**Tableau 1** : Les coordonnées Lambert des stations étudiées

Station	X (km)	Y (km)	Z (m)	Années d'observation
Les Salines	955.80	403.8	3	1972-2005
El Karma	944.60	395.50	14	1977-2005
Pont Bouchet	950.25	402.80	6	1977-2004

## **II.2.1. Les facteurs climatiques :**

### **II.2.1.1. Les précipitations :**

Constituant un facteur essentiel qui caractérise le climat d'une région, les précipitations jouent un rôle prépondérant dans le comportement hydraulique des cours d'eau et dans l'alimentation éventuelle des nappes souterraines.

- **Les précipitations mensuelles :**

Sur une période d'observation qui s'étale sur plus de 27 ans (33 ans pour la station des salines, 28 ans pour celle de Pont Bouchet et 27 pour El Kerma), les précipitations moyennes mensuelles dans les trois stations sont représentées sur les histogrammes (fig. 11)

Ces histogrammes, donnent un aperçu sur les variations mensuelles et pluriannuelles des précipitations dans la région d'étude. Décembre est le mois le plus pluvieux au niveau des trois stations ou on a enregistré un maximum de l'ordre de 347.5 mm à la station des salines, 232.3 mm pour la station pont bouché et 217.6 mm pour la celle d'El Kerma. Tandis que le mois de juillet est le mois le moins pluvieux auquel on marque un minimum de l'ordre de 0.1 mm, 0.4 mm et 1.9 mm respectivement pour les trois stations.

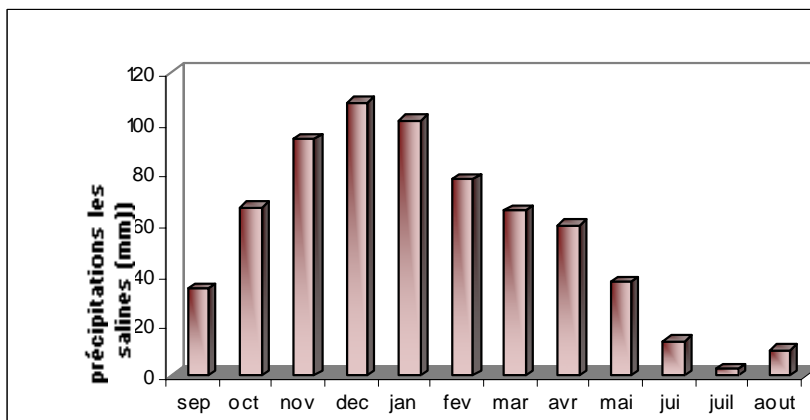
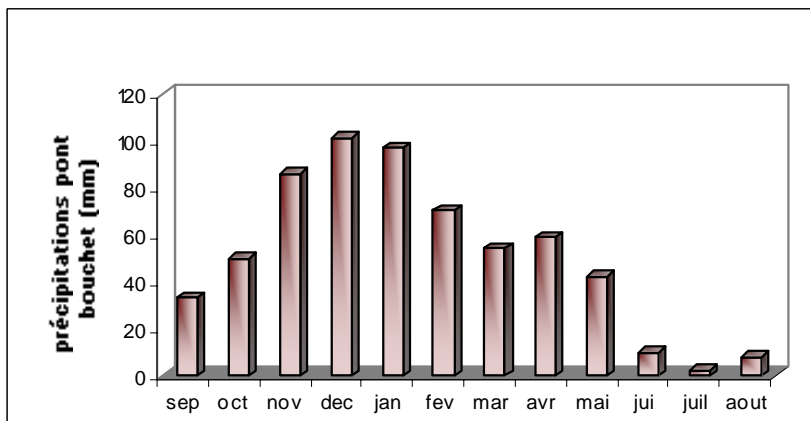
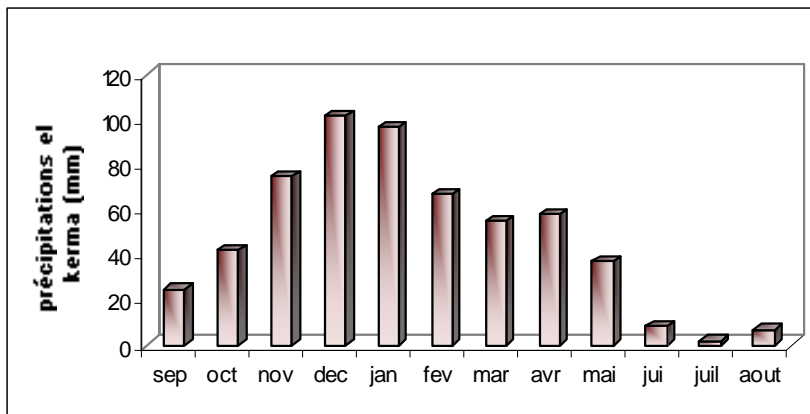


Fig. 11. Histogrammes des précipitations moyennes mensuelles (mm)

- **Les précipitations annuelles :**

Les valeurs des précipitations annuelles moyennes dans les trois stations sont de l'ordre de 670.73 mm pour la station des salines, 611.88 mm pour celle de Pont Bouchet et 558.48 mm pour El Kerma (Tableau 2)

**Tableau 2 : Précipitations annuelles dans les stations des Salines, Pont Bouchet et El Kerma (mm)**

Année	Les Salines	Année	Pont Bouchet	El Kerma
1972/1973	709.2	1977/1978	457.5	512.2
1973/1974	458	1978/1979	505.23	549.7
1974/1975	459.6	1979/1980	520.3	442.4
1975/1976	496	1980/1981	468.9	308.9
1976/1977	759	1981/1982	665.4	512.9
1977/1978	544	1982/1983	858.3	331.9
1978/1979	679	1983/1984	843.4	582.8
1979/1980	609.2	1984/1985	659.33	825.9
1980/1981	633	1985/1986	604.7	419.1
1981/1982	760.4	1986/1987	677.6	784.7
1982/1983	678.1	1987/1988	372.4	362.3
1983/1984	945.1	1988/1989	487.8	493.1
1984/1985	1311.4	1989/1990	489.5	522.2
1985/1986	534.2	1990/1991	672.4	639.7
1986/1987	921.7	1991/1992	655.1	653
1987/1988	409.5	1992/1993	665.4	631.2
1988/1989	553.8	1993/1994	488.6	472.7
1989/1990	534.2	1994/1995	531.8	548.9
1990/1991	616.3	1995/1996	727.5	687.6
1991/1992	668.1	1996/1997	382.7	325.2
1992/1993	674.8	1997/1998	775.1	665.8
1993/1994	497.7	1998/1999	700.4	726.3
1994/1995	559.6	1999/2000	470.5	519.7
1995/1996	805.7	2000/2001	518.9	503.3
1996/1997	422.7	2001/2002	408.5	399.8
1997/1998	926.8	2002/2003	937.2	917.1
1998/1999	847.4	2003/2004	648.1	740.6
1999/2000	558.5	2004/2005	940.3	
2000/2001	543.9	moyenne	611.88	558.48
2001/2002	471			
2002/2003	854.3			
2003/2004	704.4			
2004/2005	987.7			
moyenne	670.73			

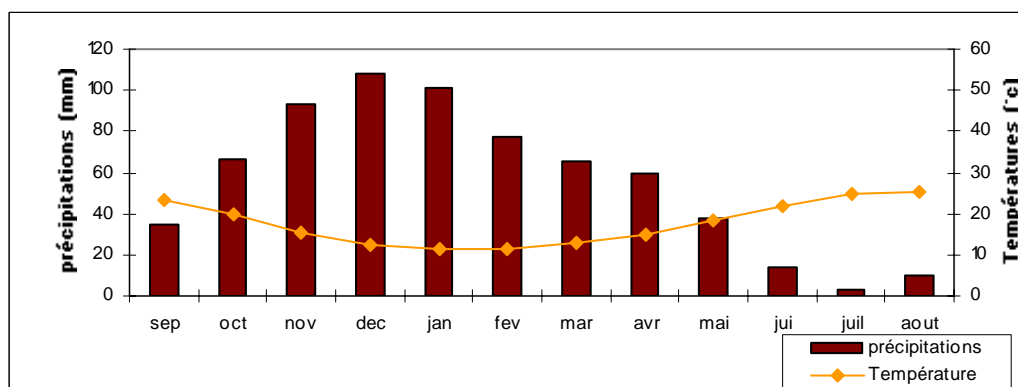
### **II.2.1.2. La température :**

Elle constitue un facteur essentiel et déterminant dans l'étude de l'évaporation et l'évapotranspiration. Les observations des températures extrêmes dont on dispose, sont prises au niveau de la station des Salines, qui est la seule à pouvoir enregistrer ces mesures, sur une période de 33 ans. Les valeurs sont portées dans le Tableau3.

**Tableau 3 : Température moyenne mensuelle (°C) à la station des salines (1972-2005)**

Mois T °c	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Août
Minimale	21.1	13.3	13.3	10.19	9.1	10.1	10.9	13.3	15.8	19.9	22.1	22.5
Maximal	26.9	22.4	17.2	17.7	18	13.7	16	17.6	20.4	25.3	32.9	28.3
Moyenne	23.5	19.71	15.36	12.54	11.6	11.61	13.06	14.86	18.27	21.66	24.91	25.47

A partir de ce tableau on constate une variation progressive des températures au cours des mois de l'année, cette variation est bien représentée dans la courbe ombrothermique (fig.12) de la station des Salines. On remarque que le mois le plus froid est janvier avec une température moyenne de l'ordre de 11.6°C alors que le mois le plus chaud est août avec une température moyenne de 17.74 °C.



**Fig. 12. Courbe ombrothermique des salines (1972-2005)**

### II.2.1.3. L'humidité :

L'humidité relative de l'air correspond au rapport de la tension de vapeur réelle observée à la tension de vapeur saturante à la même température. Les moyennes mensuelle de l'humidité relative varie de 70.64% en été (juillet) à 79.26% en hiver (janvier) avec une moyenne annuelle étant de 74.69% (Tableau 4).

**Tableau 4 : Moyenne mensuelle de l'humidité relative à la station des Salines en % (1984-2005)**

Mois	sep	oct	Nov	dec	Jan	fev	mar	Avr	mai	jui	Juil	aout
Moyenne	72.38	74.99	75.84	77.57	79.26	76.54	74.89	74.16	75.23	73.38	70.64	71.43

#### II.2.1.4. Le vent :

Les vents ont un effet important sur les phénomènes d'évaporation de précipitation et à un degré moindre sur les températures. La région d'étude est prédominée par des vents de direction NW-SE et leur vitesse moyenne est de l'ordre de 3.75 m/s (Tableau5).

Tableau 5 : Moyenne mensuelle de la vitesse des vents en m/s à la station des Salines (1984-2005)

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Août
Moyenne	3.64	3.28	3.63	3.94	3.79	3.9	3.8	3.89	3.65	3.75	4	3.78

### II.3. Le bilan hydrique :

#### II.3.1. Estimation de l'évapotranspiration potentielle et réelle :

L'évapotranspiration est la quantité d'eau évaporée à partir du sol, des surfaces d'eau libres et celle transpirée par les végétaux.

##### II.3.1.1. Formule de turc :

Cette formule consiste à évaluer directement l'évapotranspiration réelle à partir de la hauteur moyenne de la pluie et de la température moyenne annuelle.

$$ETR = \frac{P}{\left(0.9 + \frac{P^2}{L^2}\right)^{\frac{1}{2}}} \quad (1)$$

$$L = 300 + 25T + 0.05T^3 \quad (2)$$

ETR : Evapotranspiration réelle annuelle en mm

P : Précipitation moyenne annuelle en mm

T : température moyenne annuelle en °C

**Tableau 6** : L'évapotranspiration réelle selon la formule de Turc

Stations Paramètres	Les Salines	Pont Bouchet	El Kerma
P (mm)	670.73	611.88	558.48
T °c	17.74	17.83	17.85
L	1022.64	1029.16	1030.62
ETR (mm)	581.55	546.52	511.17

### II.3.1.2. Formule de Thornthwaite (bilan d'eau) :

Cette méthode est basée sur la notion de **RFU** (réserve en eau dans le sol facilement utilisable par les plantes). Dans notre cas la **RFU** admet 100 mm comme valeur maximale.

Outre que les données pluviométriques et la température, cette méthode introduit le coefficient thermique **K** et l'indice de température mensuel **i** pour l'estimation de l' **ETP** selon la relation suivante :

$$ETP (mm) = 16 \left( \frac{10T}{I} \right)^a * K \quad (3)$$

$$I = \sum i \quad (4)$$

$$i = \left( \frac{t}{5} \right)^{1.5} \quad (5)$$

$$a = \left( \frac{1.6}{100} \right) * I + 0.5 \quad (6)$$

Avec :

t : Température moyenne annuelle ° C

i :Indice thermique mensuel

I : Somme des indices mensuels

ETP : Evapotranspiration potentiel mensuelle en mm

K : terme correctif dépend de la durée d'insolation

Les résultats des calculs effectués selon cette méthode sont reportés dans les tableaux 7,8 et 9



**Tableau 7 : Bilan de l'eau selon C.W Thornthwaite, station des Salines  
(1972-2005)**

Mois paramètres	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Août	total
P (mm)	34.35	66.58	93.6	108.06	100.96	77.83	65.3	59.65	37.29	13.88	2.83	10.05	670.38
T (°c)	23.49	19.7	15.36	12.53	11.54	11.59	13.11	14.91	18.27	21.89	25.01	25.46	17.73
i	10.18	7.82	5.38	3.96	3.5	3.52	4.24	5.14	6.98	9.16	11.18	11.49	82.55
K	1.05	0.91	0.75	0.7	0.73	0.75	1.02	1.15	1.32	1.33	1.33	1.24	
ETP (mm)	112.69	70.9	37.15	23.93	21.48	22.25	37.87	53.96	89.66	125.54	159.99	154.09	
ETR (mm)	34.35	66.58	37.15	23.93	21.48	22.25	37.87	53.96	89.66	61.51	2.83	10.05	461.62
RFU (mm)	0	0	56.45	100	100	100	100	100	47.63	0	0	0	
Excédent (mm)	0	0	0	40.58	79.48	55.58	27.43	5.69	0	0	0	0	208.76
Déficit (mm)	78.34	4.32	0	0	0	0	0	0	0	64.03	157.16	144.04	447.89

**Tableau 8 : Bilan de l'eau selon C.W Tthorntwaite, station de Pont Bouchet  
(1977-2005)**

Mois paramètres	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Août	total
P (mm)	33.14	49.94	86.1	101.43	97.16	70.65	54.01	58.95	42.43	10.03	2.33	8.2	614.37
T (°c)	23.47	20.08	15.55	12.58	11.49	11.61	13.24	14.92	18.36	22.05	24.92	25.72	17.83
i	10.16	8.04	5.48	3.99	3.48	3.53	4.3	5.15	7.03	9.26	11.12	11.66	83.2
K	1.05	0.91	0.75	0.7	0.73	0.75	1.02	1.15	1.32	1.33	1.33	1.24	/
ETP (mm)	112.19	73.07	37.71	23.87	21.09	22.08	38.2	53.6	89.97	126.76	158.6	156.67	
ETR (mm)	33.14	49.94	37.71	23.87	21.09	22.08	38.2	53.6	89.97	62.49	2.33	8.2	442.62
RFU (mm)	0	0	48.39	100	100	100	100	100	52.46	0	0	0	/
Excédent (mm)	0	0	0	25.95	76.07	48.57	15.81	5.35	0	0	0	0	171.75
Déficit (mm)	79.05	23.13	0	0	0	0	0	0	0	64.27	156.27	148.47	471.19

**Tableau 9 : Bilan de l'eau selon C.W Thornthwaite, station d'El Kerma (1977-2004)**

Mois Paramètres	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Total
P (mm)	24.5	41.89	75.01	101.65	96.94	66.78	55.04	57.77	37.4	8.6	1.89	7.08	574.55
T (°C)	23.49	20.04	15.61	12.6	11.58	11.7	13.27	14.91	18.34	22.01	24.9	25.75	17.85
i	10.18	8.02	5.51	4	3.52	3.57	4.32	5.14	7.02	9.23	11.11	11.68	83.3
K	1.05	0.91	0.75	0.7	0.73	0.75	1.02	1.15	1.32	1.33	1.33	1.24	/
ETP (mm)	112.23	72.71	37.92	23.9	21.35	22.36	38.29	53.45	89.66	126.19	158.19	156.84	
ETR (mm)	24.5	41.89	37.92	23.9	21.35	22.36	38.29	53.45	89.66	56.34	1.89	7.08	418.63
RFU (mm)	0	0	37.09	100	100	100	100	100	47.74	0	0	0	
Excédent (mm)	0	0	0	14.84	75.59	44.42	16.75	4.32	0	0	0	0	155.92
Déficit (mm)	87.73	30.82	0	0	0	0	0	0	0	69.85	156.3	149.76	494.46

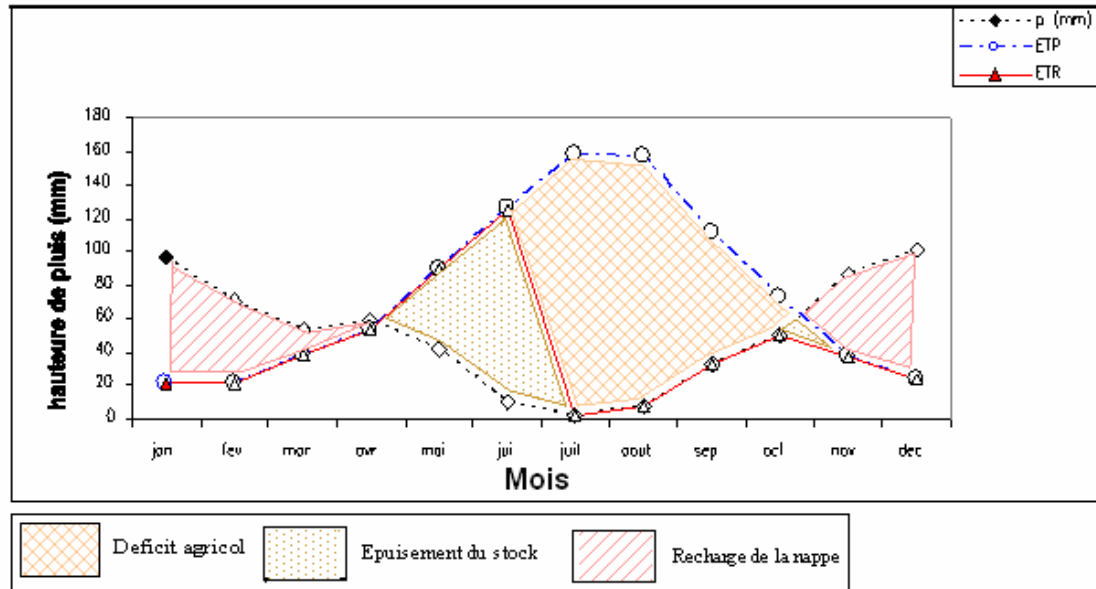


Fig. 13. Représentation graphique du bilan hydrique de Thornthwaite, station des Salines (1972-2005)

Ainsi, on remarque que la réserve en eau du sol RFU dans les trois stations, commence à se reconstituer à partir du mois de novembre, pour atteindre son maximum 100 mm à partir de décembre jusqu'à avril, période pendant laquelle apparaît un excédent qui va se traduire en écoulement ou une infiltration qui alimente la nappe. A partir du mois de mai (fig. 13) la réserve commence à s'épuiser jusqu'au mois de juin où elle devient nulle, période qui traduit un déficit agricole nécessitant l'irrigation.

#### II.4. Réseau hydrographique :

La région d'étude est parcourue par deux oueds d'inégale importance (fig. 14) :

- Oued Seybouse
- Oued Meboudja

##### *A/ Oued Seybouse :*

C'est le deuxième oued en Algérie, il draine un vaste bassin d'une superficie 6471 km<sup>2</sup> avec un débit annuel de 441 millions de m<sup>3</sup>. Depuis les hautes plaines de Sellawa et de Heracta, l'oued Seybouse s'écoule dans une vallée de direction sud-nord. Il résulte de la confluence de l'oued Charef et l'Oued Bouhamdane dans la région de Guelma, passant par Chihani et la plaine de Annaba où l'écoulement devient régulier et lent et recevant l'Oued Meboudja avant de se jeter finalement dans la Méditerranée (tableau 10).

On note que l'oued Bouhamdane n'alimente plus l'oued Seybouse car il a été capté pour construire le barrage Bouhamdane. Ceci a eu pour effet la baisse des débits de l'oued et par conséquent une dégradation de la qualité des eaux due aux divers apports.

Tableau 10 : Les affluents de la Seybouse .source (Agence des bassins hydrographiques)

Ordre	Nom de l'affluent	Wilaya	Commune	Type
01	O. Cherf	Guelma	Medjez Amar	Permanent
02	O.Bouhamdane	Guelma	Medjez Amar	Permanent
03	O.Touta	Guelma	El Fedjouj	Collecteur
04	O.Skhoun	Guelma	Guelma	Collecteur
04	O.Maiz	Guelma	Guelma	Collecteur
05	O.Zimba	Guelma	Belkheir	Collecteur
06	Chaaba Mekkouka	Guelma	Boumahra	Collecteur
07	O.Bousra	Guelma	Boumahra	Collecteur
08	O.Halia	Guelma	Hammam N'baïl	Permanent
09	O.Malah	Guelma	Bouche gouf	Permanent
10	O.Frarah	Guelma	O.Fragha	Temporaire
11	O.Lesfah	Guelma	O.Fragha	Temporaire
12	O.Sbaa	El tarf	Dréan	Temporaire
13	O.Meboudja	Annaba	El Hadjar	Permanent

#### ***B/ Oued Meboudja :***

Constituant un collecteur intermédiaire entre le lac Fetzara et l'oued Seybouse, l'oued Meboudja draine une superficie de 203 km<sup>2</sup> avec un faible débit par rapport à celui de l'oued Seybouse. Il présente une crue quinquennale de 20 m<sup>3</sup>/s (Benouna et al, 1986) due au mauvais drainage au sud du complexe sidérurgique et il reçoit l'oued Taieb et l'oued Ressoul avant de rejoindre l'oued Seybouse à environ 8 km de l'embouchure.

L'évolution des débits de l'oued Meboudja, à la station dite « Pont Vanne » qui contrôle la totalité des entrées du lac, dépend de l'ouverture de la vanne. Ils varient entre 1,012 m<sup>3</sup>/s et 27,7380 m<sup>3</sup>/s.

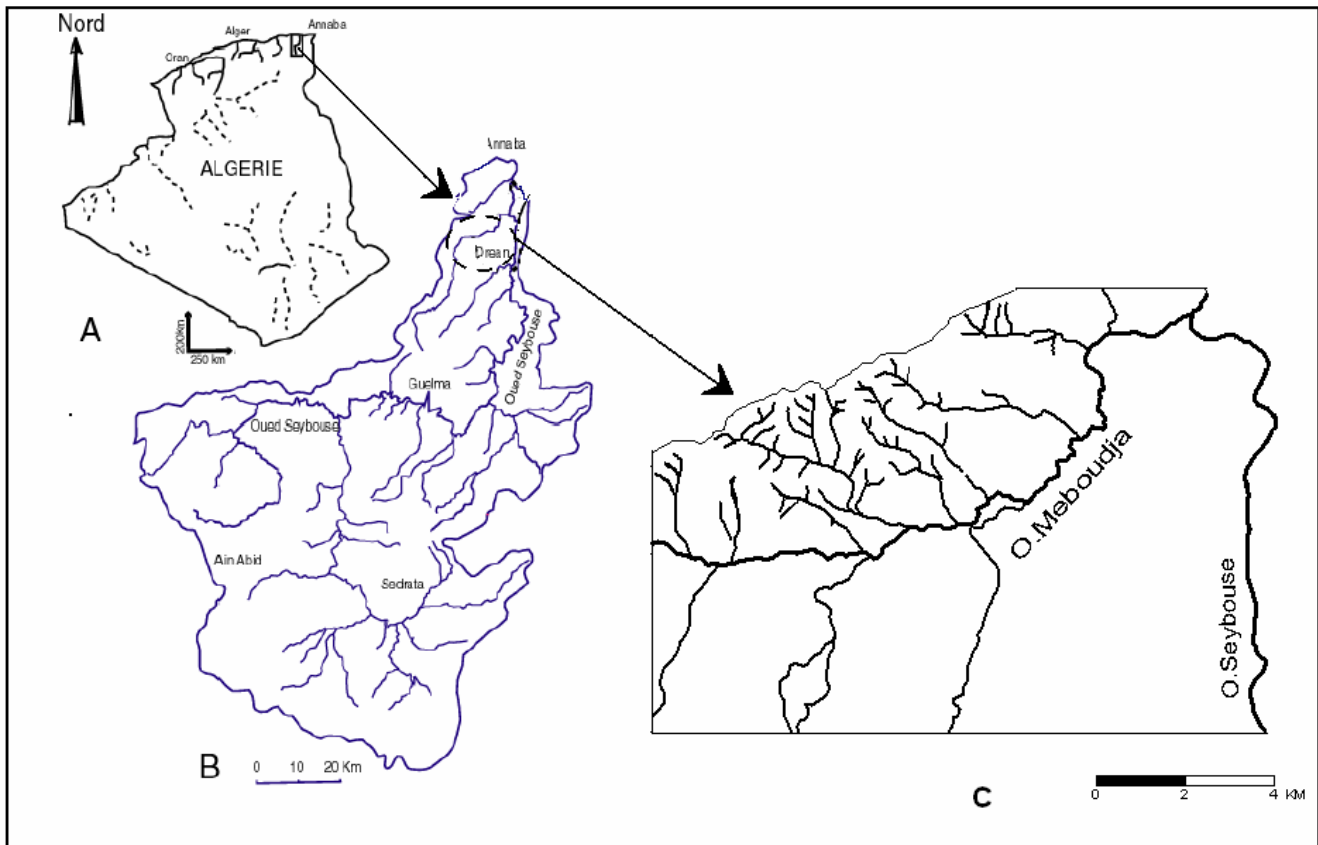


Fig. 14. Carte du réseau hydrographique de la région d'étude

## II.5. Conclusion :

La région d'étude compte parmi les régions les plus arrosées de l'Algérie. Elle est soumise à un climat méditerranéen, doux et humide en hiver et chaud et sec en été. La moyenne annuelle des précipitations varie entre 558.48 mm et 670.73 mm sous une température moyenne de l'ordre de 17.80 °C.

La réserve en eau, 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 208.76 mm, 171.75 mm et 155.92 mm respectivement pour les stations des Salines, Pont Bouchet et El Kerma. A partir du mois de mai, la RFU commence à s'épuiser jusqu'au mois de juin où elle devient nulle, période qui traduit un déficit agricole.

Les débits mesurés au niveau des oueds Seybouse et Meboudja montrent une relation nette entre les précipitations et les débits, car les forts débits enregistrés correspondent à la saison humide (forte pluie) alors que les faibles débits correspondent aux faibles précipitations.

# Chapitre III : Hydrochimie

## ➤ *Première partie*

### **III.1. Introduction :**

L'eau dans son cheminement, garde en elle le souvenir de toutes les formations qu'elle traverse et de tous les rejets qu'elle reçoit ; c'est le chimisme qui détermine sa qualité. Outre la qualité, le but de cette étude est de déterminer les sources de pollution, pour une éventuelle gestion et contrôle de cette ressource en eau.

Du fait de sa vocation agricole et surtout 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 Nafaa (1985), Hannouche (1990), Kherici (1993), Djabri (1996), Louhi (1996), Zenati (1999), Debieche (2202), Hani (2003), Derradji (2004)...etc.

C'est pour cette raison que plusieurs campagnes de prélèvements ont été réalisées pendant la période de août 2005 à mai 2006, dans les points de mesures qui sont répartis comme suit : l'oued Meboudja (5 points), les puits de l'agglomération de Derradji Redjem, El Kerma, la zone industrielle de Meboudja à Chaiba et la zone industrielle de Pont Bouchet. Le suivi s'est effectué selon planning suivant :

- Un suivi mensuel pour la mesure du pH, la température et la conductivité électrique,
- Un suivi bimensuel pour étudier l'évolution des éléments suivants : Cr, Pb, Fe, Cu et Zn,
- Trois campagnes (Septembre, Novembre et mai) pour mesurer les éléments majeurs : Ca, Mg, Na, SO<sub>4</sub>, PO<sub>4</sub>, HCO<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, Cl ainsi que les MES.

### **III.2. Différentes origines de la pollution des eaux :**

Dans la région d'étude, l'oued Meboudja qui prend chemin à travers la plaine passant par les terres agricoles, les usines et les petites agglomérations de Derradji Rdjem, Sidi Amar et El Hadjar entraîne avec lui toutes sortes de polluants dont l'origine est soit industrielle, urbaine ou agricole.

#### **II.2.1. Rejets industriels :**

Plusieurs zones industrielles, constituées d'un grand nombre d'unités, sont présentes dans la région d'étude et qui contribuent par conséquent à la pollution des eaux de surface et souterraines compte tenu de l'absence presque totale de stations de traitement des rejets. Le

tableau 11 permet de citer quelques entreprises dont les rejets rejoignent directement ou indirectement la Meboudja.

**Tableau 11** : Inventaire des usines existant dan la région d'étude. Source : Agence des bassins hydrographiques

CARACTÉRISTIQUES				ÉPURATION	
Lieu d'implantation	NOM	Nature/type	Vol rejetés m <sup>3</sup> /j	Qualité des rejets	Point de rejet
El Hadjar	TRANSCANAL EST	Production de tuyaux en Béton armé	1,5	eaux usées industrielles	réseaux assai
El Hadjar	SARL E.R.W.A. EST	Aciérie	4,8	rejet non polluant	O. Meboudja
ZI Pt Bouchet	TREFIL EST ex E.N.T.P.L.	Transformation de produit longs (Acier)			
ZI Pt Bouchet	SARL PMR FETIMI	Fabrication de dalles mono couches			
ZI Pt Bouchet	EPE -ENCC	Charpente métallique ,Chaudronnerie mécanique et usinage	non calculé	eaux usées	réseaux assai
ZI Pt Bouchet	CHOCOTEK	Chocolaterie et confiserie	9	eaux usées	O. Meboudja
ZI Pt Bouchet	SAT PAP	Transformation du Papier	8	//	//
ZI Pt Bouchet	M.T.A	Maintenance, transport , transit et agréage	3,5	eaux usées et pluviales et huiles	O. Meboudja
ZI Pt Bouchet	E.P.T.R./ EST	Réalisation de travaux routiers	12	eaux de lavage de machine	réseaux assai
ZI Pt Bouchet	SIDER G.C.L	Commercialisation des produits sidérurgique	1	eaux usées	réseaux assai
ZI Pt Bouchet	E.N.G.I.	Production et distribution de Gaz industriel	20	la chaux et eaux usées	O. Meboudja
ZI Pt Bouchet	T.M.P.K. (PRIVE) à l'arrêt	Transformation de matière plastique (KHELIFA)	Non calculé	eaux usées	réseaux assai
ZI Pt Bouchet	SARL RHUMELGUM (PRIVE)	Fabrication de Chewing-gum	1	Eaux usées	O. Meboudja
ZI Pt Bouchet	SARL EST (PRIVE)	Transport Est	Non calculé	eaux usées+ huiles	Fosse
ZI Pt Bouchet	SOFARM (PRIVE)	Fabrication articles médicaux			
ZI Pt Bouchet	ETS BAIBA	Modelage mécanique		non enquêtée	
ZI Pt Bouchet	TARSI	Montage de la charpente, chaudronnerie et équipement mécanique		non enquêtée	
Sidi Amar	Mittal Steel ex (EN Sider)	Sidérurgie			
ZI Meboudja	S.N.C. C.E.C.C.O.(PRIVE)	Transformation de papier			
Route de Chaiba	PROCIM ex ( Prosider)	Construction métallique et galvanisation			



## **NB :**

Réseau d'assainissement des zones industrielles "Pont Bouchet", "Meboudja" et "Sidi Amar" se jettent dans l'oued Meboudja sans aucun traitement (Agence des bassins hydrographiques)

### **III.2.2. Rejets urbains :**

Les rejets urbains atteignent l'oued Meboudja par le biais du réseau d'assainissement des différentes agglomérations qui entourent l'oued. Une analyse physico-chimique effectuée en mois de novembre 1999 par Debieche (2002) sur les rejets de Sidi Amar figure dans le tableau 12.

Tableau 12 : Analyse physico-chimique de l'eau du rejet urbain de Sidi Amar (novembre 1999)

<b>Rejets urbains</b>	<b>Date</b>	<b>T °C</b>	<b>pH</b>	<b>Cond µS/cm</b>	<b>E<sub>H</sub> mV</b>	<b>O<sub>2</sub> mg/l</b>	<b>N H<sub>4</sub> mg/l</b>	<b>NO<sub>2</sub> mg/l</b>	<b>NO<sub>3</sub> mg/l</b>	<b>PO<sub>4</sub> mg/l</b>
<b>Sidi Amar</b>	<b>27/11/99</b>	<b>17.3</b>	<b>8</b>	<b>1443</b>	<b>410</b>	<b>1</b>	<b>69</b>	<b>0.13</b>	<b>9.75</b>	<b>32.4</b>

### **III.2.3. Influence de l'agriculture :**

Le lessivage des terrains agricoles sur lesquels sont épandés d'une manière souvent intensive les engrais chimiques, constitue une source supplémentaire de pollution. Plusieurs cas de contamination par les nitrates sont observés dans les eaux de la nappe superficielle (Debieche, 2002)

## **III.3. Méthode de prélèvement et de conservation des échantillons :**

Les échantillons ont été prélevés jusqu'à débordement dans des flacons en polyéthylène, rincés au préalable avec de l'eau distillée, puis bouchonnés et immédiatement mis dans une glacière. Lors des campagnes des mois de septembre, novembre et mai, on a utilisé deux bouteilles pour chaque point, l'un pour l'analyse des métaux lourds dans lequel on a ajouté quelques gouttes d'acide nitrique pour assurer sa conservation dans un milieu acide, l'autre pour l'analyse des éléments majeurs. Tous les deux sont conservés à basse température (4°C) jusqu'au moment de l'analyse qui ne doit pas dépasser 24 h pour le pH, TA, TAC et TH ; 48 h pour la conductivité, les NO<sub>2</sub> et les PO<sub>4</sub>, 7 jours pour le SO<sub>4</sub> ; 2 mois pour les métaux lourds et enfin plusieurs mois pour le Ca et le Mg selon J.Rodier (1996).

### **III.3.1. Matériels et méthodes d'analyse :**

#### **III.3.1.1. Les paramètres physico-chimiques :**

Le pH, le  $E_H$ , la température et la conductivité sont mesurés in situ au moyen d'appareillage de terrain avec des sondes sélectives (pH-mètre, Mettler Toledo MP 120, conductivimètre HANNA instruments Hi 8633)

#### **III.3.1.2. Les paramètres organiques :**

Le  $NO_2$ ,  $PO_4$  et  $SO_4$  son mesurés par un spectromètre de type PU 8620 (Philips) avec une longueur d'onde 435 nm, 608 nm et 420 nm respectivement.

#### **III.3.1.3. Les métaux lourds :**

①  $Cr^{6+}$  et Fe (T) son également mesurés par un spectromètre de type PU 8620 série Philips avec une longueur d'onde 540 nm pour le  $Cr^{6+}$  et 510 nm pour le Fe (T).

② Cr (T), Cu, Zn et Pb son mesurés par le spectrophotomètre d'absorption atomique à flamme AA.6601F (Shimadzu) avec des longueurs d'onde respectives 357.9, 324.7, 213.9 et 283.3nm.

#### **III.3.1.4. Les éléments majeurs :**

##### **III.3.1.4.1. Titre alcalimétrique complet : T.A.C (mg/l $HCO_3$ )**

La mesure a été effectuée par volumétrie : ajout de 2 gouttes de méthyle orange à 50 ml de l'échantillon titré avec l'acide sulfurique jusqu'à obtention d'une coloration rose.

##### **III.3.1.4.2. La dureté total : TH ( $Ca^{+2} + Mg^{+2}$ ) mg/l**

La dureté totale est la teneur globale en sels de Ca et Mg. La mesure a été effectuée par complexométrie en ajoutant à 50 ml de l'échantillon du noir d'iriochrome T (indicateur coloré) et titrés la solution avec le sel disodique de l'acide Ethylène Diamino Tétra Acétique (EDTA) en milieu tamponné à pH = 10.

##### **III.3.1.4.3. Le calcium : $Ca^{+2}$ (mg/l)**

La mesure a été effectuée par volumétrie en utilisant la méthode de complexométrie à l'EDTA.

#### **III.3.1.4.4. Le magnésium : $Mg^{2+}$ (mg/l)**

La teneur en Mg est obtenue à partir de la dureté totale et du calcium, comme suit :

$$Mg^{+2} = TH - Ca^{+2}$$

#### **III.3.1.4.5. Les chlorures : $Cl^-$ mg/l**

Les chlorures sont dosés par volumétrie en milieu neutre par une solution de nitrate d'argent jusqu'à obtention d'une coloration rouge brique.

#### **III.3.1.5. Les matières en suspension : MES (mg/l)**

Les matières en suspension sont déterminées par pesée différentielle après filtration de l'eau. Elles sont fonction de plusieurs facteurs parmi lesquels la nature du terrain traversé, la pluviométrie, les rejets...etc.

### **III.4.3. Résultats et interprétations :**

#### **III.4.1. Variation des paramètres physiques :**

Les courbes de variation du pH,  $E_H$ , conductivité électrique et de la température représentent l'évolution de ces paramètres dans l'espace sur des profils depuis l'amont jusqu'à l'aval de l'oued Meboudja et durant la période s'étalant du mois d'août 2005 jusqu'à mai 2006.

##### **III.4.1.1. Variation du pH :**

Le pH est la mesure de la concentration en protons (ion hydrogène ou  $H_3O^+$ ) dans une solution donnée. Pour les eaux souterraines, le pH varie entre 7 et 8.8 et ne dépassent pas la norme (6.5 à 8.5). Tandis que pour les eaux de surface, le pH oscille largement de 6 à 9 du fait de son contact avec l'air et avec les rejets industriels acides ou basiques (fig. 15).

##### **III.4.1.2. Variation du potentiel d'oxydoréduction : $E_H$ (mV)**

Le potentiel d'oxydoréduction ( $E_H$ ) est la mesure de la concentration des électrons en solution (en mV). Il agit sur l'intensité de l'activité biologique, sur l'état d'oxydation de certains éléments (Fe, Mn...etc.) et sur l'évolution de la matière organique.

- Si le  $E_H$  est supérieur à 0 : le milieu est oxydant en contact avec l'air (milieu aérien, aquatique superficiel ou agité).
- Si le  $E_H$  est inférieur à 0 : le milieu est réducteur à l'abri de l'air (milieu aquatique calme, eaux stratifiées, sols hydro morphes).

Les valeurs de  $E_H$  que présente l'eau souterraine ou de surface et qui varient dans l'ensemble des points entre -125 à -30 mV traduisent un milieu réducteur.

La variation au niveau de la nappe superficielle est faible (-70 à -35 mV), cela peut être du à la couche argileuse qui empêche l'oxygénation de la nappe.

Concernant les eaux superficielles, le  $E_H$  atteint des valeurs plus faibles allant jusqu'à -125 mV dans le MP25 à cause des rejets urbains et industriels organiques (fig. 16).

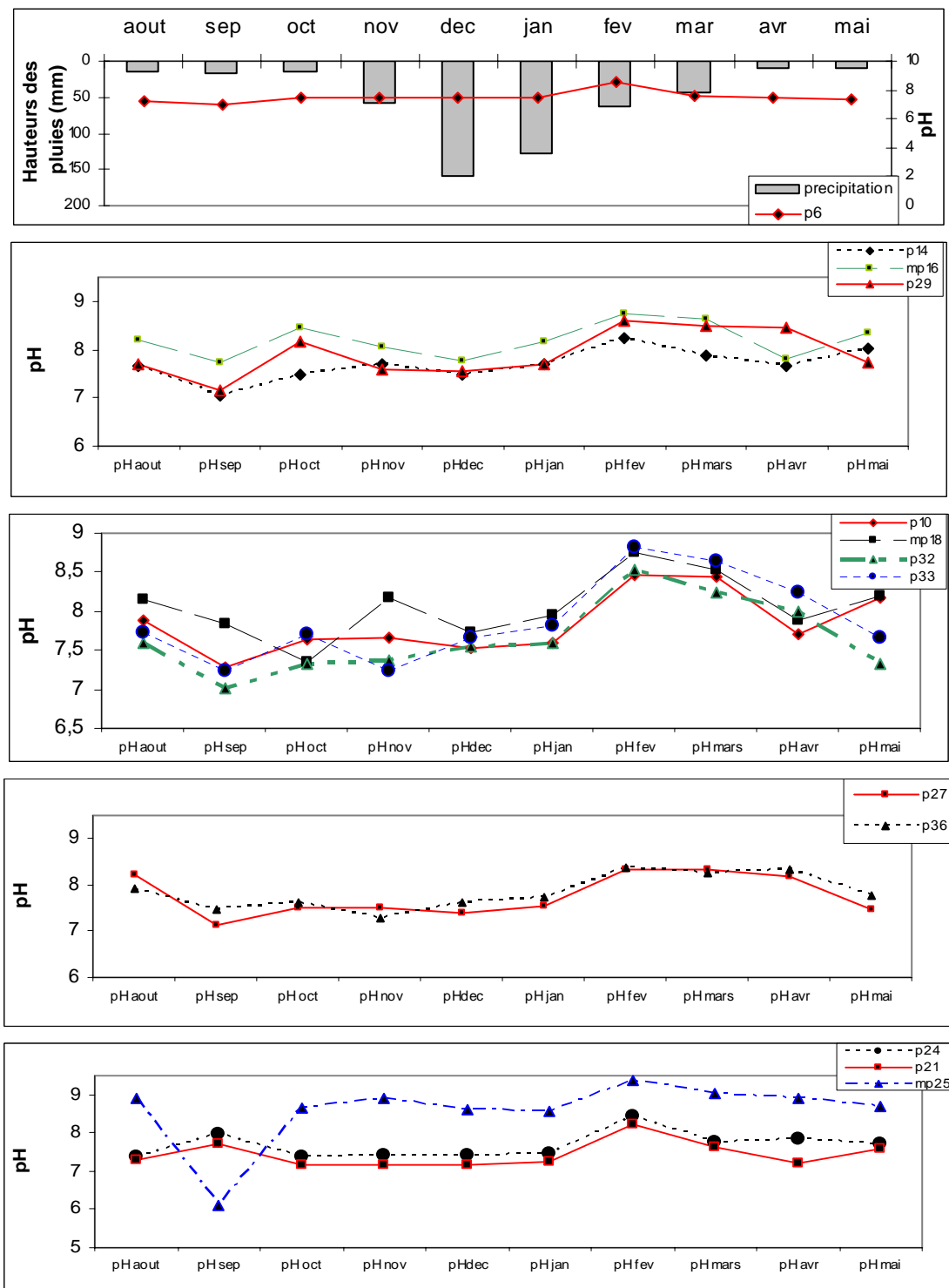


Fig. 15. Variation du pH (août 2005-mai 2006)

#### **III.4.1.3. Variation de la température : T (°C)**

En fonction du changement saisonnier, la température de l'eau change. Au niveau de la nappe superficielle et celle des graviers, sa variation ne dépasse pas la norme ( $< 25^{\circ}\text{C}$ ) sauf pour le puits P27 en période d'été où elle est de l'ordre de  $29^{\circ}\text{C}$ .

Par contre, dans les eaux de surface elle peut atteindre jusqu'à  $30^{\circ}\text{C}$  sous l'influence des conditions externes (fig. 17)

#### **III.4.1.4. Variation de la conductivité électrique : CE ( $\mu\text{s/cm}$ )**

Concernant la nappe superficielle, les valeurs les plus élevées sont atteintes au mois de septembre dans les puits P32, P33, P27 et P36 se trouvant dans le secteur Est de l'oued Meboudja. Ces fortes valeurs peuvent être dues à la dissolution des lentilles gypseuses qui existent au niveau de la nappe (Kherici, 1993).

Les eaux de surface marquent aussi de fortes conductivités en ce mois ( $4220 \mu\text{s/cm}$ ) dans le MP16 ce serait dû aux apports salins du lac Fetzara. Ensuite la conductivité tend à diminuer du mois de septembre jusqu'au mois d'avril à cause de la dilution par les eaux de pluie, ou on note une faible valeur dans les eaux de l'oued Meboudja ( $627 \mu\text{s/cm}$ ) au point MP16 au mois de décembre (fig. 18).

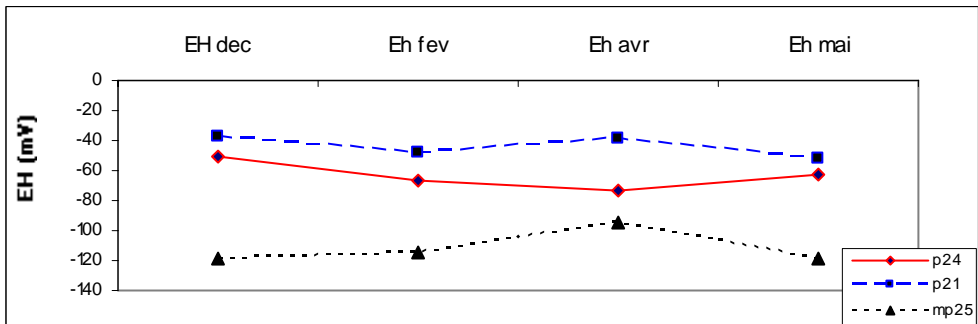
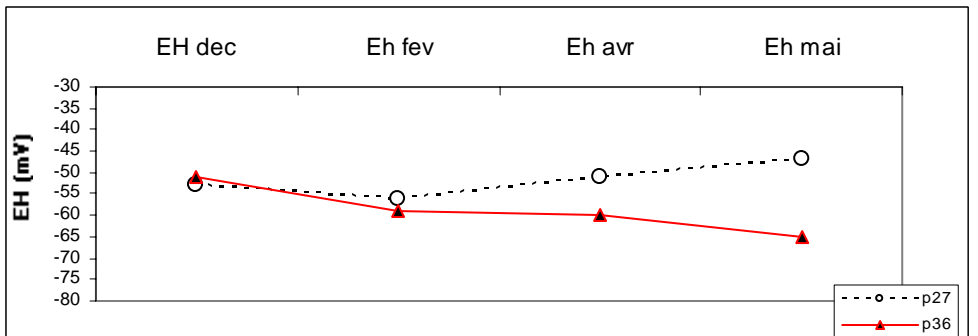
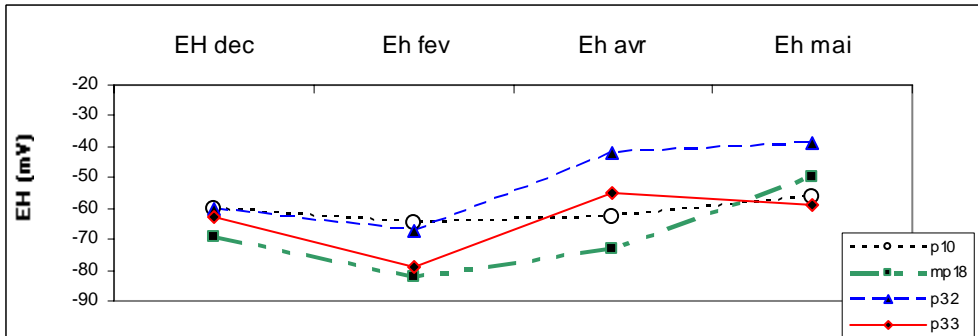
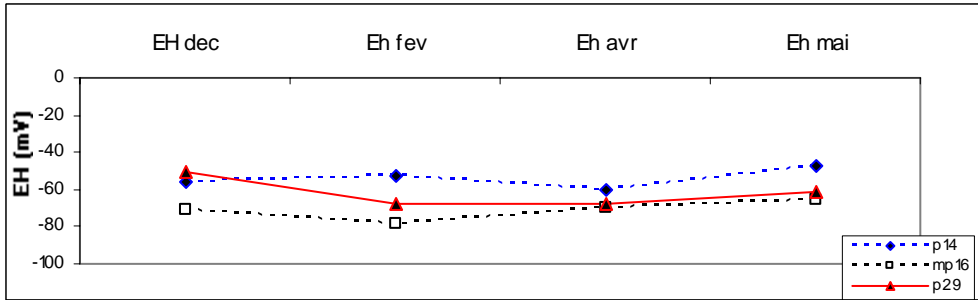
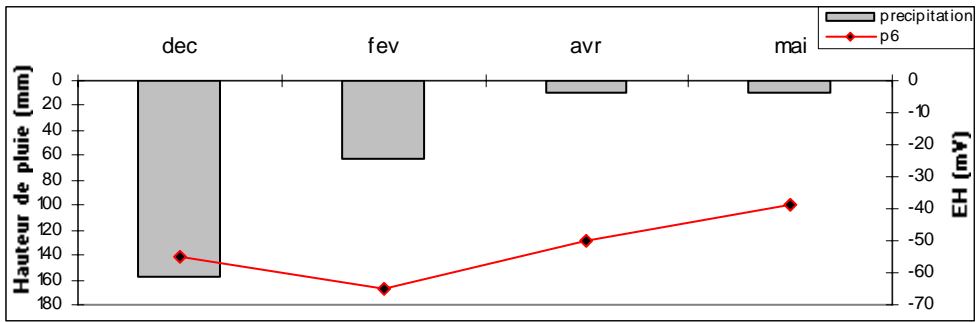


Fig. 16. Variation du potentiel d'oxydoréduction (décembre 2005 - mai 2006)

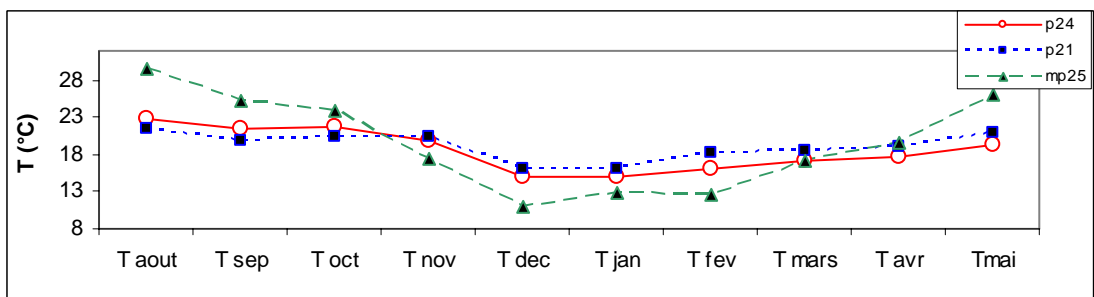
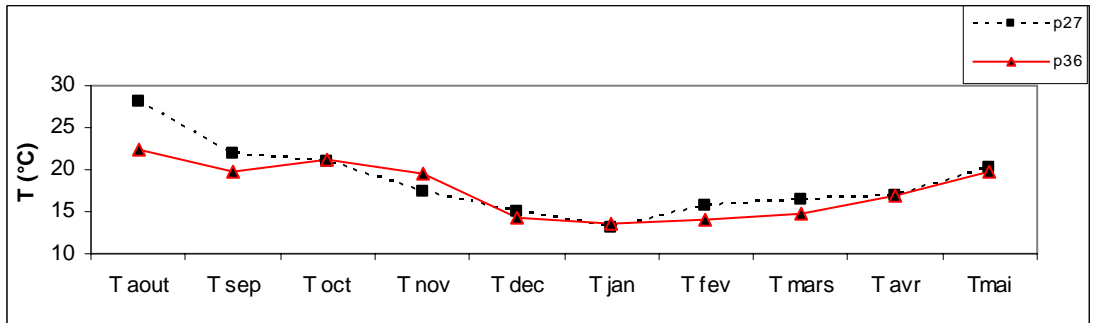
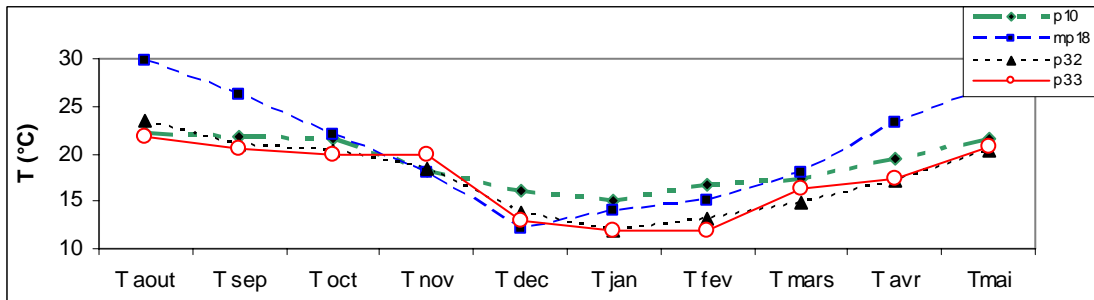
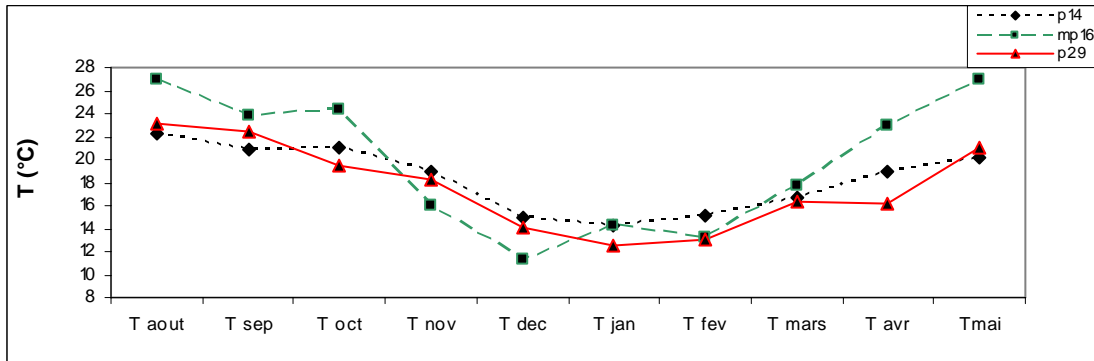
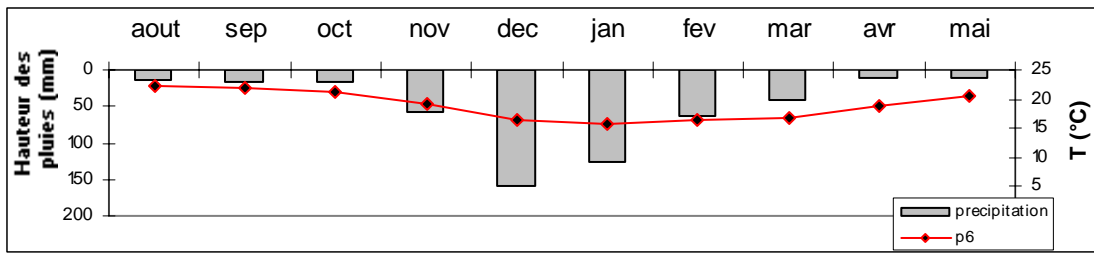


Fig. 17. Variation de la température (août 2005- mai2006)

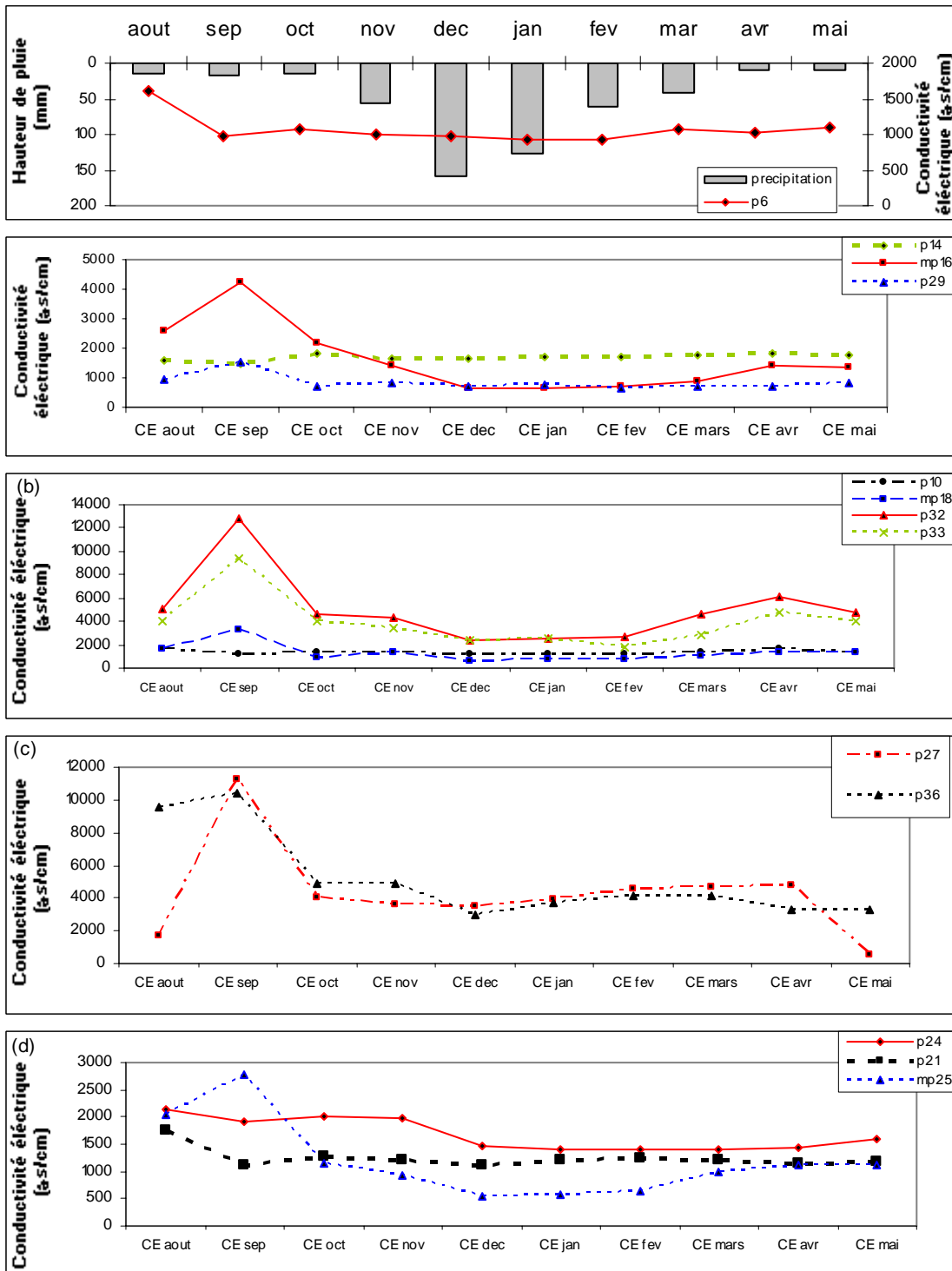


Fig. 18. Variation de la conductivité électrique (août 2005- mai 2006)



### III.4.2. Evolution des éléments chimiques dans l'eau :

Les concentrations des éléments chimiques dans l'eau, varient aussi bien d'un endroit à un autre qu'au cours des saisons. Le suivi bimensuel du Fe, Cr, Zn, Pb et Cu et les deux campagnes de novembre 2005 et de mai 2006 ont permis de constater une évolution spatiale et temporelle se traduisant comme suit :

#### III.4.2.1. Variation des éléments majeurs :

##### III.4.2.1.1. Degré hydrotimétrique : (TH)

La dureté ou titre hydrotimétrique (TH) correspond essentiellement à la présence de sels de calcium et de magnésium. Elle est directement liée à la nature des terrains traversés. Ils proviennent des roches calcaires ou dolomitiques. La présence du CO<sub>2</sub> favorise cette dissolution. On distingue :

- La dureté totale =  $[Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]$
- La dureté totale = dureté calcique + dureté magnésienne
- La dureté calcique  $T_{Ca} = [Ca^{2+}]$
- La dureté magnésienne  $T_{Mg} = [Mg^{2+}]$

Les valeurs de TH de la nappe superficielle sont comprises entre 28.7 °F pour le puits P28 et 286 °F pour le puits P32 donc c'est une eau dure à très dure selon la classification de l'OMS traduisant ainsi une forte minéralisation de cette nappe.

Tableau 13 : Classification de la dureté de l'eau selon l'OMS (1972)

TH (°F)	0-7	7- 22	22- 32	32- 54	> 54
Dureté de l'eau	douce	modérément douce	assez dure	dure	très dure

##### III.4.2.1.2. La variation de la teneur en calcium :

L'existence de cet élément dans les eaux a pour origine la dissolution des formations carbonatées et gypseuses. La teneur en calcium dans les eaux de la nappe superficielle et profonde dépasse la norme de potabilité (100 mg/l) avec un maximum dans le puits P32 (650 mg/l). Les eaux de surface présentent des teneurs faibles en Ca ne dépassant pas les 160 mg/l (fig. 19A et a).

#### **III.4.2.1.3. La variation de la teneur en Mg :**

Présents dans l'eau, les cations Mg ont la même provenance que ceux du Ca (dissolution des formations carbonatées riches en Mg).

Les eaux de la nappe superficielle renferment les concentrations de Mg les plus élevées dépassant la norme (50mg/l) par endroit et atteignant 300 mg/l au P32. Par contre, au niveau de la nappe des graviers cet élément reste en dessous des normes.

Les eaux de surface présentent aussi des faibles teneurs en Mg qui n'atteignent pas les 50 mg/l. Temporellement, la variation de la teneur en Mg est marquée par une légère augmentation dans les puits qui se trouvent sur la rive Ouest de la Meboudja du fait de la dissolution des cipolins probablement riches en Mg (fig. 19 B et b).

#### **III.4.2.1.4. Variation de la teneur en HCO<sub>3</sub> :**

L'origine des bicarbonates est attribuée elle aussi à dissolution des formations carbonatées (cipolin, calcaire). Les eaux souterraines révèlent des fortes teneurs en HCO<sub>3</sub> qui atteignent des valeurs de 520 mg/l dans le P21 pour la nappe superficielle, et 300 mg/l dans le P40 pour la nappe des graviers.

De novembre jusqu'à mai les puits qui se trouvent sur la rive ouest de l'Oued marquent une augmentation des teneurs en HCO<sub>3</sub> confirmant son origine géologique (fig. 19 C et c).

#### **III.4.2.1.5. Variation de la teneur en SO<sub>4</sub> :**

La présence des sulfates dans les eaux peut avoir pour origine la dissolution des formations gypseuses. Présent à des faibles concentrations dans les trois types d'eau, cet élément est en dessous des normes de potabilité (250 mg/l), la concentration la plus élevée est de 165 mg/l dans le puits P24 pour la nappe superficielle, et de 60 mg/l pour la nappe des graviers.

Concernant l'eau de surface, la norme est de 500 mg/l, or, la concentration maximale ne dépasse pas 210 mg/l au MP18.

Pour les eaux de la nappe superficielle, la présence des sulfates est liée à la dissolution des lentilles gypseuses. Par contre, dans la nappe des graviers les teneurs sont moins élevées indiquant la faible présence du gypse dans ses formations.

Dans les eaux de surface la présence du SO<sub>4</sub> est liée à la dissolution des cipolins de l'Edough et de Bellilieta (fig.19D et d).

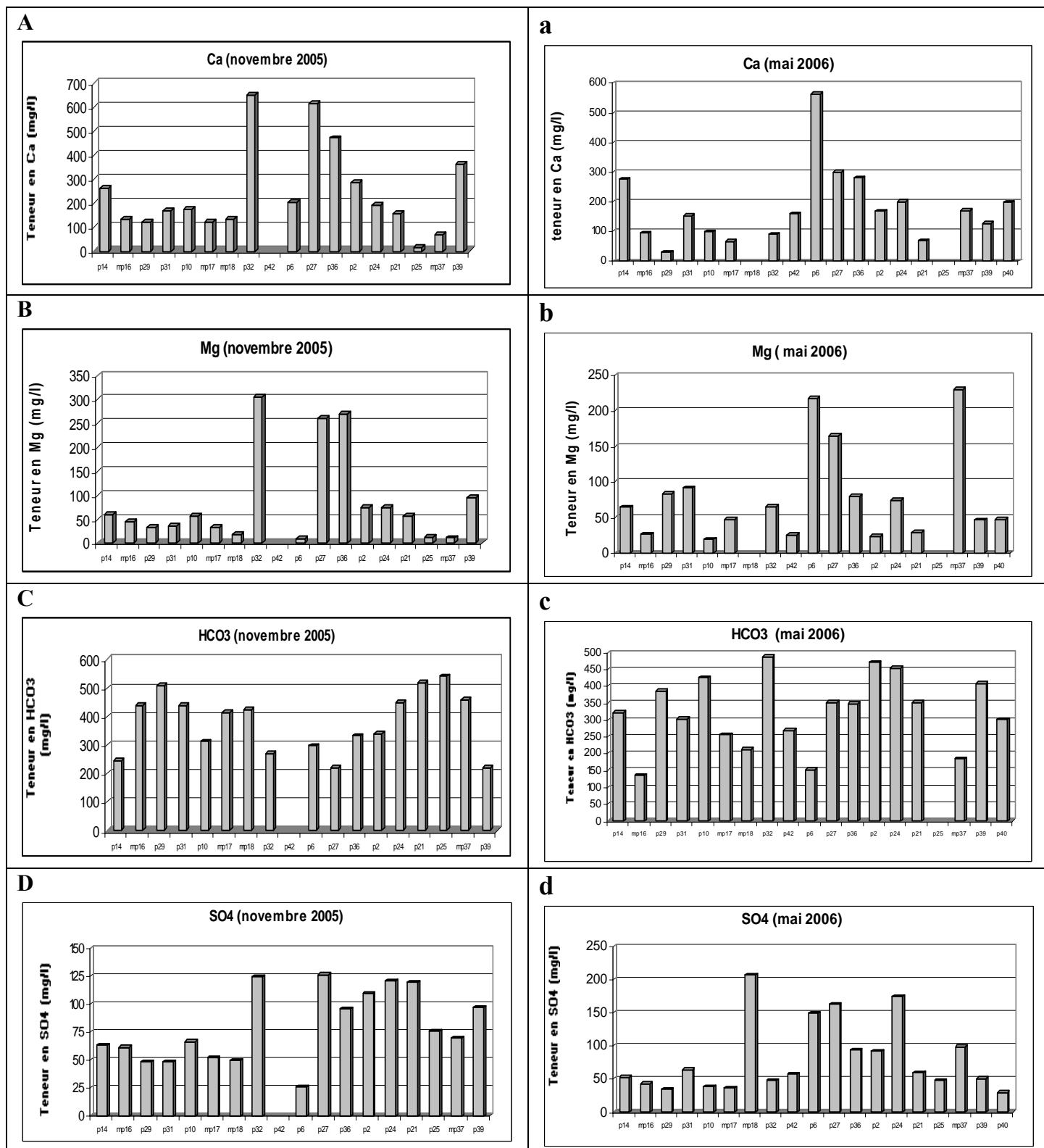


Fig. 19. Variation de Ca, Mg, HCO<sub>3</sub> et SO<sub>4</sub> dans les compagnes du novembre 2005 et mai 2006

#### **III.4.2.1.6. Variation de la teneur en phosphates PO<sub>4</sub> :**

L'origine de l'existence des phosphates dans les eaux serait liée aux rejets urbains ou à la dissolution des engrais chimiques (NPK).

Dans les eaux souterraines la variation de la teneur reste faible en dessous de la norme de potabilité 5 mg/l (OMS, 2004). Tandis que dans les eaux de surface sa teneur est forte et dépasse la norme des eaux superficielles (10 mg/l) (fig. 20E et e).

#### **III.4.2.1.7. Variation de la concentration en NO<sub>2</sub> :**

Considéré comme un élément toxique, le NO<sub>2</sub> est la forme la moins stable dans le cycle de l'azote. Il est issu de la réduction de l'ammonium NH<sub>4</sub>. Son origine est liée à l'agriculture ou aux rejets urbains et industriels.

Le NO<sub>2</sub> est présent dans la nappe profonde en dessous de la norme (0.1 mg/m), ainsi que dans la nappe superficielle exceptés les puits P29 et P2 qui sont destinés à la consommation humaine où la teneur atteint 0.38 mg/l et se localisent dans des terrains agricoles.

Dans l'oued Meboudja cet élément marque des teneurs élevées avec une valeur maximale qui est de 4.7 mg/l au mois de novembre dans le point Mp25 (fig. 20F et f).

#### **III.4.2.1.8. Variation de la concentration en Na et Cl :**

La variation simultanée de ces deux éléments confirme leur origine commune, qui peut être attribuée :

- dans la nappe superficielle, à la dissolution des formations salifères riches en halite,
- dans la nappe des graviers, à l'infiltration par endroit des eaux de la nappe superficielle riches en ces deux éléments,
- dans l'oued Meboudja, l'origine est liée aux apports salifères du lac Fetzara par l'effet de l'évaporation (Zenati, 1999) ou à la remontée des eaux marines dans l'oued Seybouse et donc dans son affluent l'oued Meboudja ( Strojexport, 1975).

La teneur en Na et Cl dépasse énormément les normes de potabilité (Na : 100mg/l, Cl : 200mg/l) dans la majorité des puits surtout ceux qui se trouvent sur la rive Est de l'oued pour atteindre jusqu'à 3900 mg/l de Cl dans le P32 et 1500 mg/l de Na dans le même puits (fig. 20G, g, H et h).

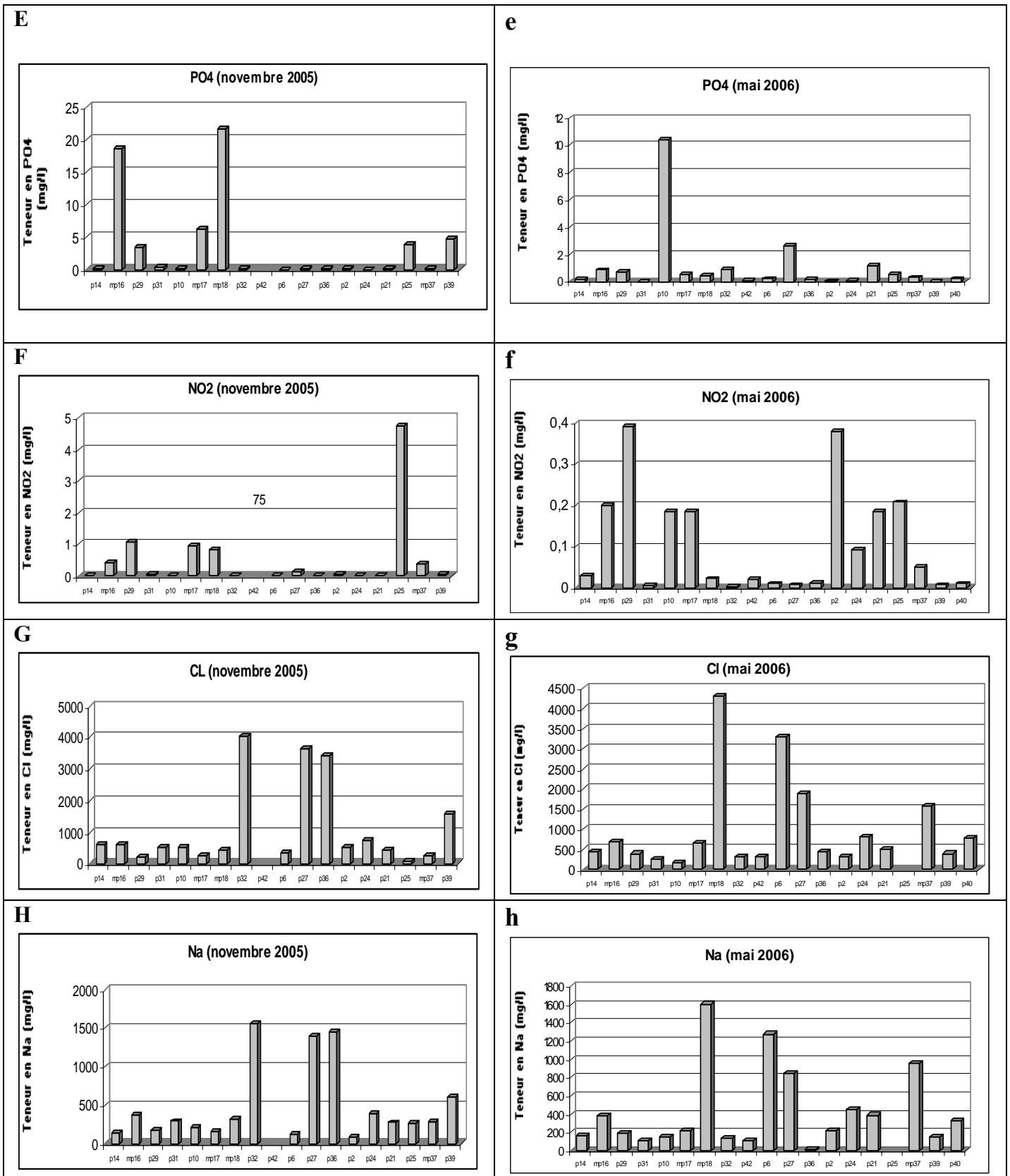


Fig. 20. Variation de  $PO_4$ ,  $NO_2$ , Cl et Na dans les campagnes du novembre 2005 et mai 2006

### **III.4.2.2. Variation des métaux lourds dans les eaux :**

Les teneurs en métaux lourds dans les eaux de la nappe superficielle, de la nappe des graviers ou de l'oued Meboudja sont variables d'un point à un autre et d'une campagne à une autre. Les figures qui suivent illustrent ces variations en fonction de l'espace (où on a pris les deux campagnes de septembre et de mai pour mieux illustrer cette évolution) et dans le temps.

#### **III.4.2.2.1. Variation de concentration en Chrome :**

L'origine de ce métal peut être naturelle, il existe dans les formations à roches basiques ou dans les silicates (pyroxène, muscovite, grenat), ou bien industrielle où il peut être utilisé en galvanoplastie, raffinerie, tannerie, métallurgie, colorants, peinture...etc.

##### ***III.4.2.2.1.1. Evolution du Chrome dans le temps :***

Au niveau des eaux de surface, de la nappe superficielle ou celle des graviers les concentrations en Chrome pendant les mois de septembre, janvier, mars et mai sont généralement faibles et ne dépassent pas 0.05 mg/l, teneur considérée correspondant à la norme de potabilité. Par ailleurs, on note des fortes concentrations constituant des pics au mois de mai au niveau des puits P33 où la teneur est de 0.05 mg/l pour la nappe superficielle et de 0.095 au P40 pour la nappe profonde.

Concernant l'évolution de cet élément en mois de novembre, les teneurs sont très importantes et dépassent largement des normes de rejets et de potabilités dans l'ensemble des puits et en particulier P2 puits le plus proche du complexe sidérurgique ce qui renforce l'hypothèse de l'origine industrielle de cet élément ( Debieche et al, 2001).

Les faibles concentrations présentes dans les eaux de surface, dans la nappe superficielle ou dans la nappe des graviers peuvent avoir comme origine les rejets industriels dans l'atmosphère de l'usine Mittal Steel (ex. Sider) qui se précipitent sous l'effet des pluies (Khérici, 1993) sur la plaine (fig. 21).

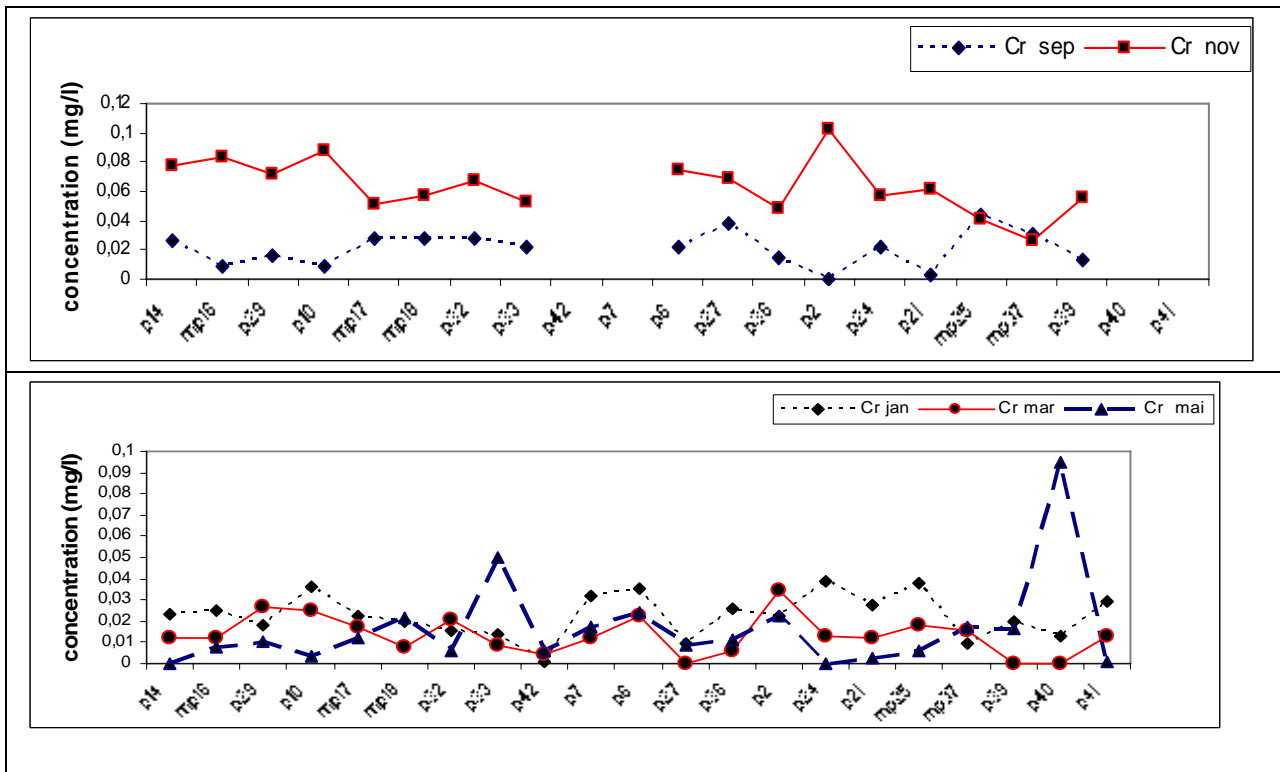
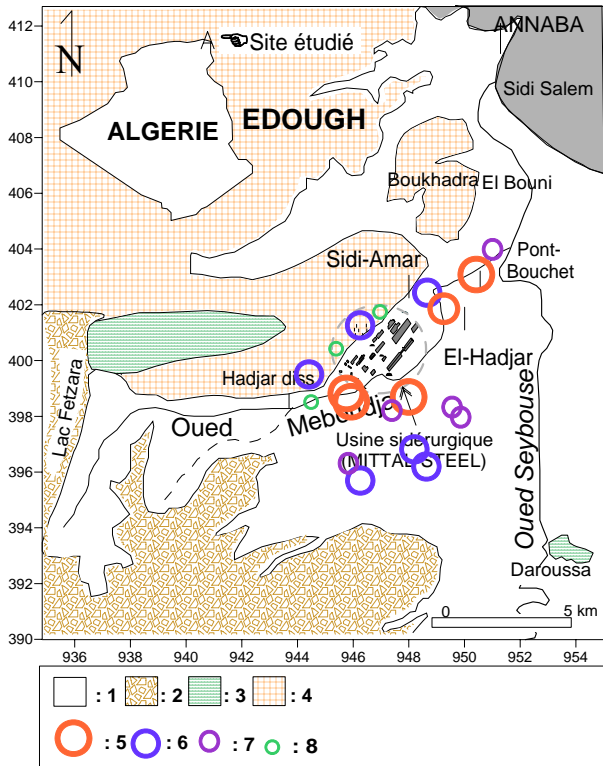


Fig. 21. Variation du Chrome dans le temps.

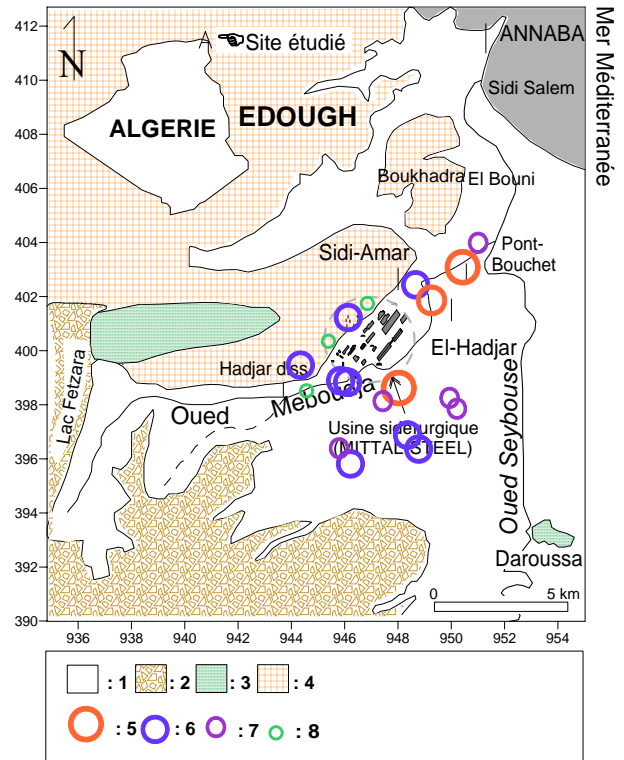
#### III.4.2.2.1.2. Evolution du Chrome dans l'espace :

La répartition spatiale de la concentration du Chrome dans les eaux souterraines et de surface est représentée comme suit : pour la période des basses eaux (septembre 2005), la classe qui correspond aux teneurs les plus élevées représente les eaux de surface et elle tend à diminuer de part et d'autre de l'oued Meboudja. Par contre, en période des hautes eaux (mai 2006), on remarque que la classe des plus hautes concentrations est celle des points de l'oued qui se situe en aval. La classe des moyennes teneurs représente les puits localisés aux alentours du complexe Mittal Steel (fig. 22 et 23).



Légende :  
 1 : Quaternaire indifférencié, 2: Alluvions anciennes, 3: Grès et argiles du Numidien, 4: Formations métamorphiques,  
 5 : de 0.028 à 0.043 mg/l.  
 6 : de 0.02 à 0.028 mg/l,  
 7 : de 0.01 à 0.02 mg/l,  
 8 : de 0 à 0.01 mg/l.

Fig. 22. Evolution du Chrome dans l'espace (septembre 2005)



Légende :  
 1 à 4 : voir figure 22  
 5 : de 0.03 à 0.05 mg/l,  
 6 : de 0.02 à 0.03 mg/l,  
 7 : de 0.01 à 0.02 mg/l,  
 8 : de 0 à 0.01 mg/l.

Fig. 23. Evolution du Chrome dans l'espace (mai 2006)

### III.4.2.2.2. Variation de la teneur en Fer total :

Existant dans les eaux souterraines ou superficielles, l'origine du fer peut être attribuée à la géologie par lessivage des formations argileuses, ou à l'industrie (métallurgie et sidérurgie).

#### III.4.2.2.2.1. Evolution du Fer dans le temps :

Les concentrations en Fe (T) dans les eaux de surface ou souterraines varient dans le temps. Au niveau des eaux de l'oued la teneur est souvent faible en dessous de la norme de l'irrigation (5 mg/l) sauf au mois de septembre pour les points MP25 et MP37 où elle atteint 15.6 mg/l et 6.18 mg/l respectivement. Ces fortes teneurs seront liées aux rejets industriels. Tandis que, pour les eaux des deux nappes la concentration est, pour cet élément, plus ou



moins élevée du fait qu'elle dépasse la norme de 0.2 mg/l, notamment en période des basses eaux où elle est de l'ordre de 1.48 mg/l dans le P33.

Pendant le mois de janvier, les faibles teneurs en fer sont expliquées par la dilution par les pluies hivernales (fig. 24).

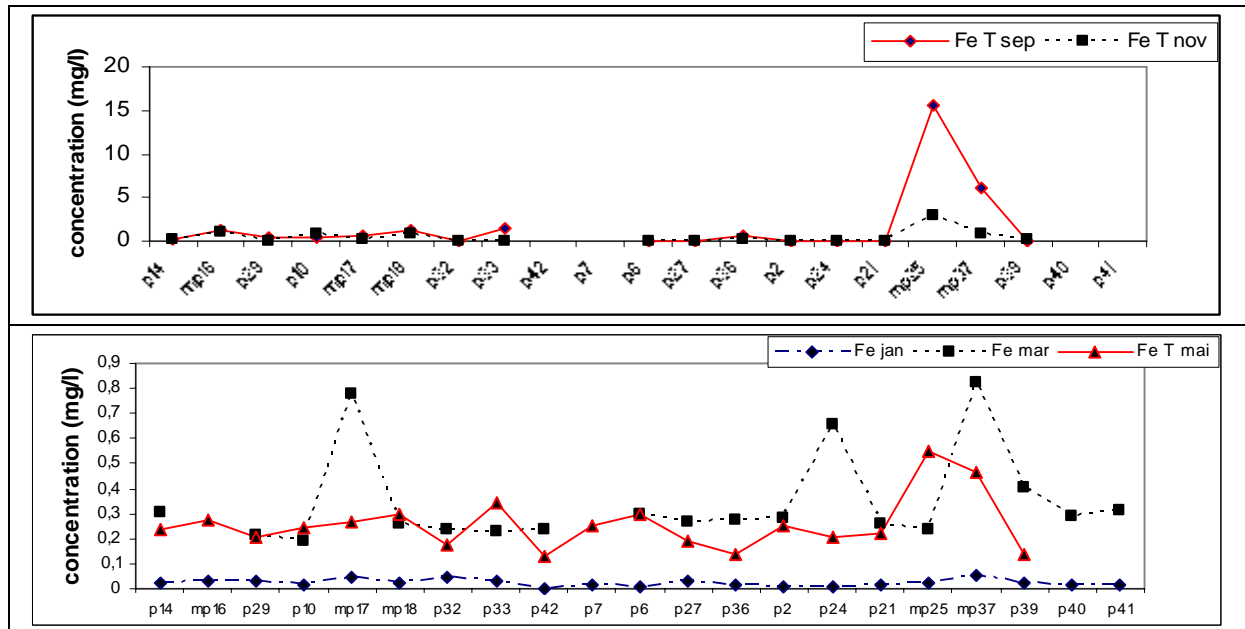
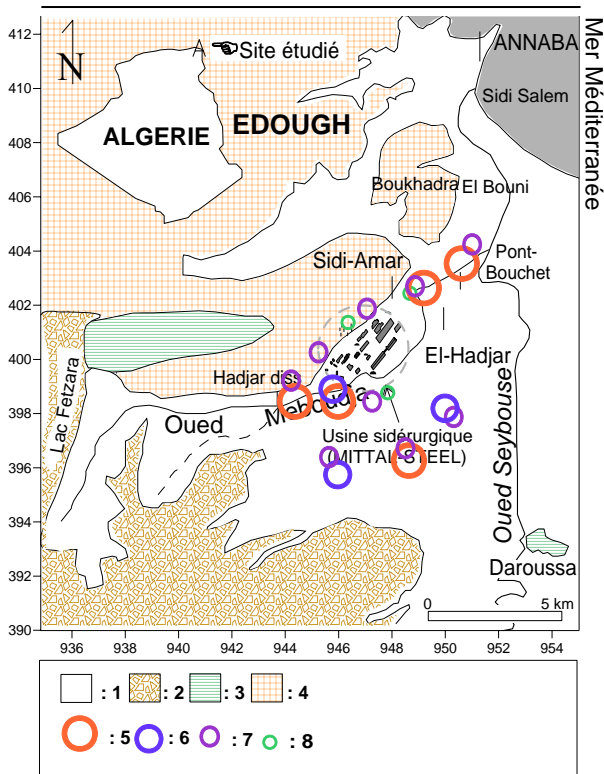


Fig. 24. Variation du Fer total dans le temps

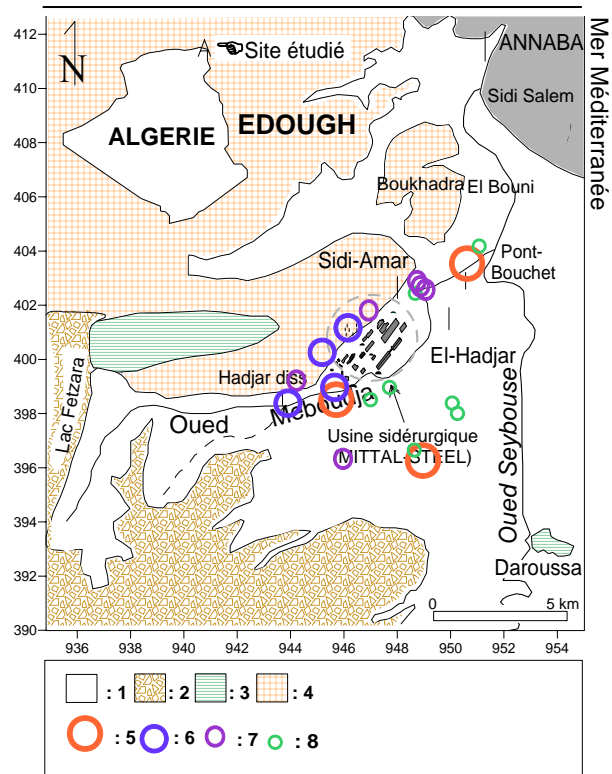
#### III.4.2.2.2. Evolution du Fer dans l'espace :

Sur la figure 24, on constate que durant les basses eaux la forte teneur en fer caractérise les eaux de l'oued Meboudja et elle est faible en moyenne pour les eaux souterraines. Par contre, durant la période des hautes eaux, on remarque que la concentration en fer reste élevée dans les eaux de l'oued mais elle marque également une augmentation dans les puits situés en bordure de l'oued, ce qui semble bien confirmer la relation nappe-oued décrite précédemment (Chauve et al, 1986) (fig. 25 et 26).



Légende :  
 1 à 4 : voir figure 22  
 5 : de 1.0 à 15.61mg/l,  
 6 : de 0.5 à 1.0 mg/l,  
 7 : de 0.09 à 0.5 mg/l,  
 8 : de 0 à 0.09 mg/l.

Fig. 25. Evolution du Fer dans l'espace (septembre 2005)



Légende :  
 1 à 4 : voir figure 22  
 5 : de 0.3 à 0.5 mg/l,  
 6 : de 0.24 à 0.3 mg/l,  
 7 : de 0.2 à 0.24 mg/l,  
 8 : de 0.15 à 0.2 mg/l.

Fig. 26. Evolution du Fer dans l'espace (mai 2006)

### III.4.2.2.3. Variation de la concentration en Cuivre :

Sa présence dans les eaux est liée à l'industrie. Il est employé dans les alliages (laiton, bronze, maillechort), dans l'industrie électrique, le traitement de surface, la galvanoplastie ainsi que dans les traitements agricoles.

#### III.4.2.2.3.1. Evolution du Cuivre dans le temps :

Les concentrations en cuivre observées dans les eaux des deux nappes et de l'oued pendant toutes les campagnes sont faibles et n'atteignent pas la limite de potabilité ou de l'irrigation qui est de 1 mg/l (fig. 27).

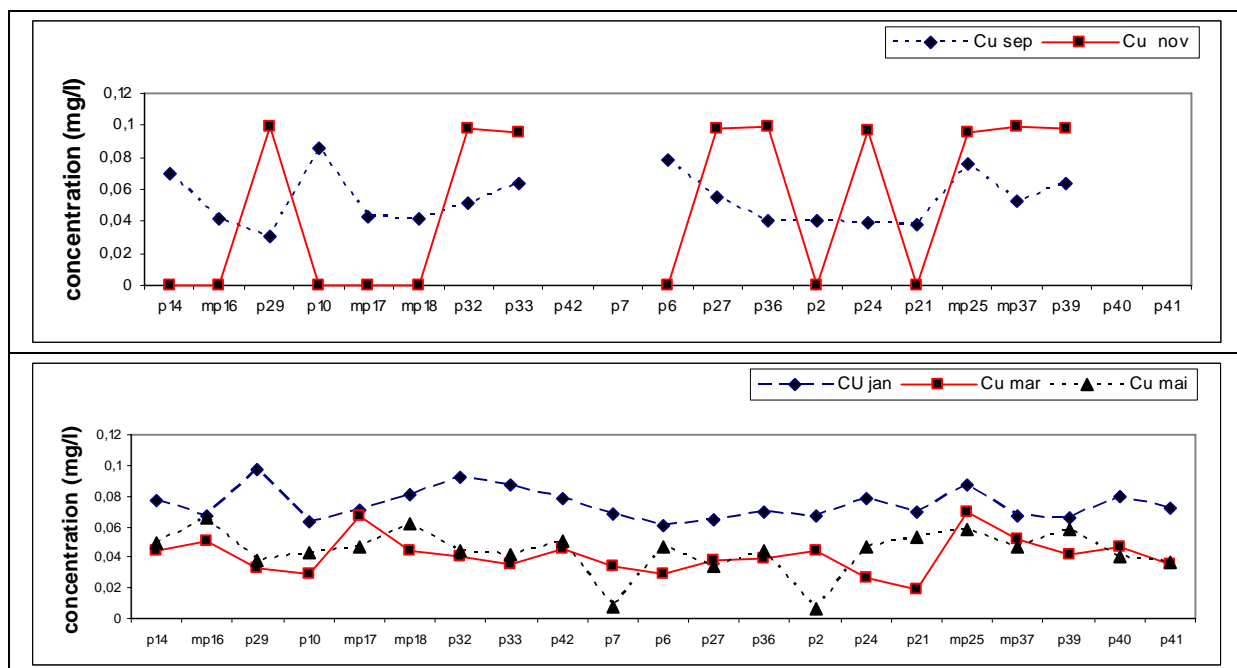
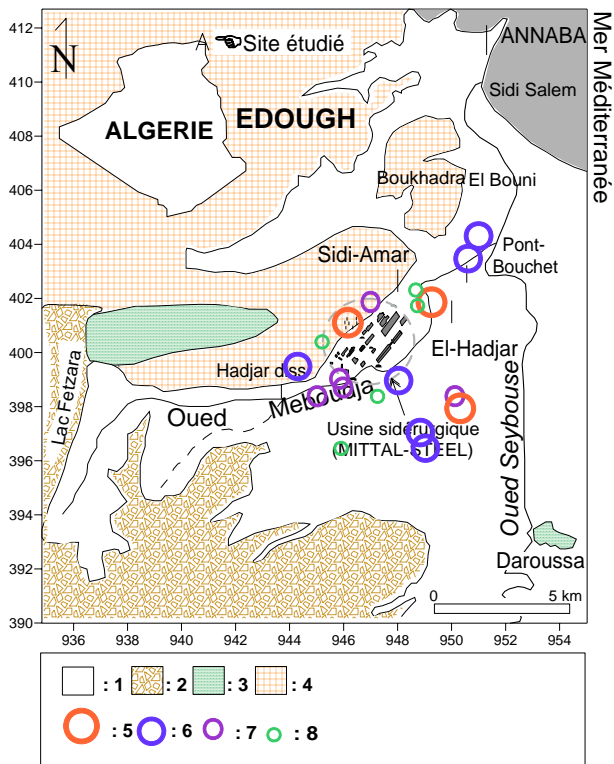


Fig. 27 : Variation du cuivre dans le temps

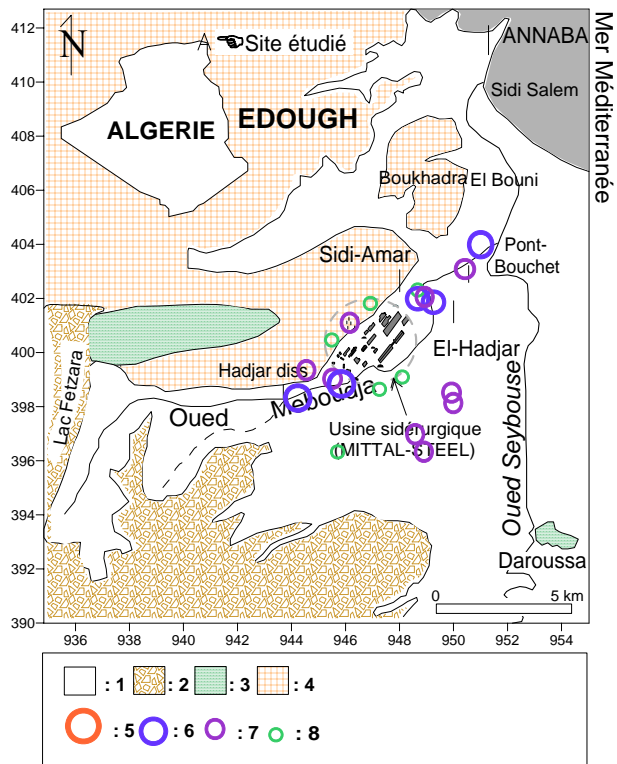
#### III.4.2.2.3.2. Evolution du Cuivre dans l'espace :

Géographiquement, les fortes teneurs en cuivre se localisent notamment dans le secteur situé en amont, de part et d'autre de l'oued Meboudja, pour la période des basses eaux. Tandis qu'en période de hautes eaux les fortes se situent pratiquement dans toutes les eaux de l'oued (fig. 28 et 29).



Légende :  
 1 à 4 : voir figure 22  
 5 : de 0.03 à 0.043 mg/l,  
 6 : de 0.02 à 0.03 mg/l,  
 7 : de 0.01 à 0.02 mg/l,  
 8 : de 0 à 0.01 mg/.

Fig. 28. Evolution du Cuivre dans l'espace (septembre 2005)



Légende :  
 1 à 4 : voir figure 22  
 5 : de 0.07 à 0.08 mg/l,  
 6 : de 0.05 à 0.07 mg/l,  
 7 : de 0.04 à 0.05 mg/l,  
 8 : de 0.01 à 0.04 mg/l.

Fig. 29. Evolution du Cuivre dans l'espace (mai 2006)

#### III.4.2.2.4. Variation de la concentration en plomb :

Dans la nature, le plomb se trouve dans les formations suivantes : galène, cérusites et pyrophosphates alors que dans l'industrie, il est employé dans la fabrication des accumulateurs acides, de la soudure et des pigments.

##### III.4.2.2.4. 1. Evolution du Plomb dans le temps :

Les concentrations en Plomb dans les eaux de la plaine, sont très élevées et excèdent les teneurs correspondant aux normes (0.05 mg/l). Ainsi, les teneurs les plus élevées sont observées surtout dans les eaux de la nappe superficielle, où elles atteignent une valeur maximale de 0.9 mg/l dans le puits P27.

La variation temporelle des concentrations en Plomb, se traduit par des valeurs très élevées pendant les basses eaux. Par contre, au mois de janvier (période des hautes eaux) les valeurs sont généralement faibles quoiqu'elles dépassent, par endroit, le seuil de potabilité (P27) (fig. 30).

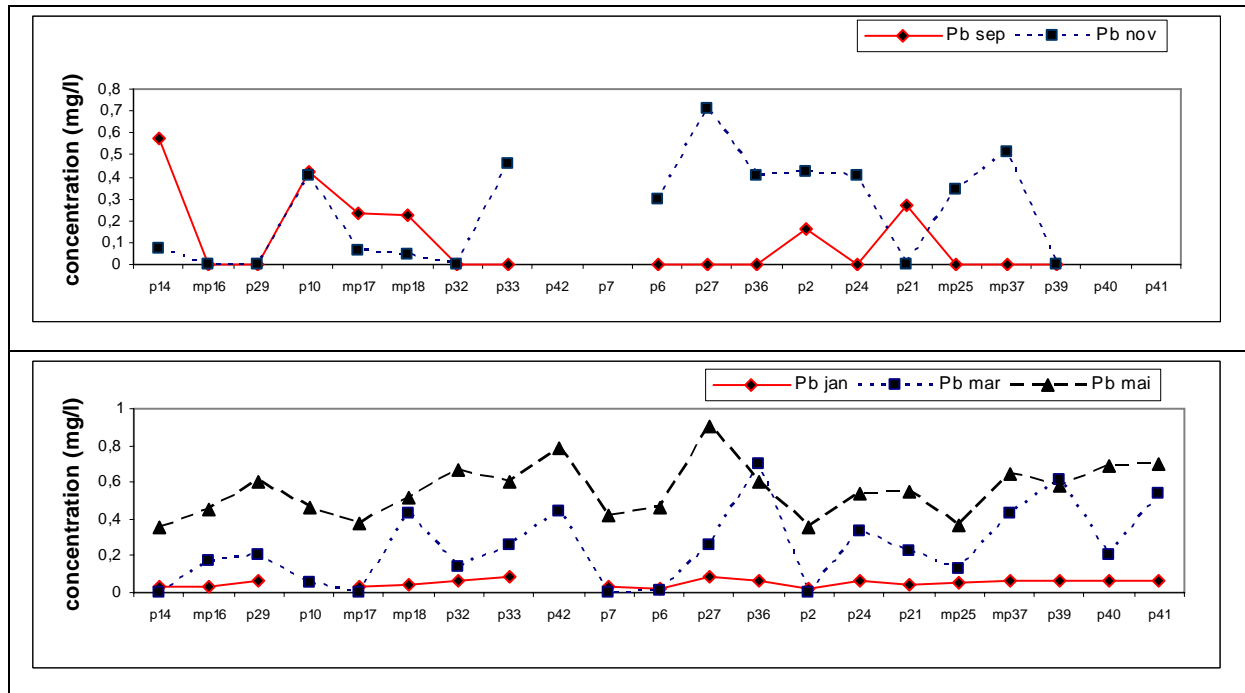
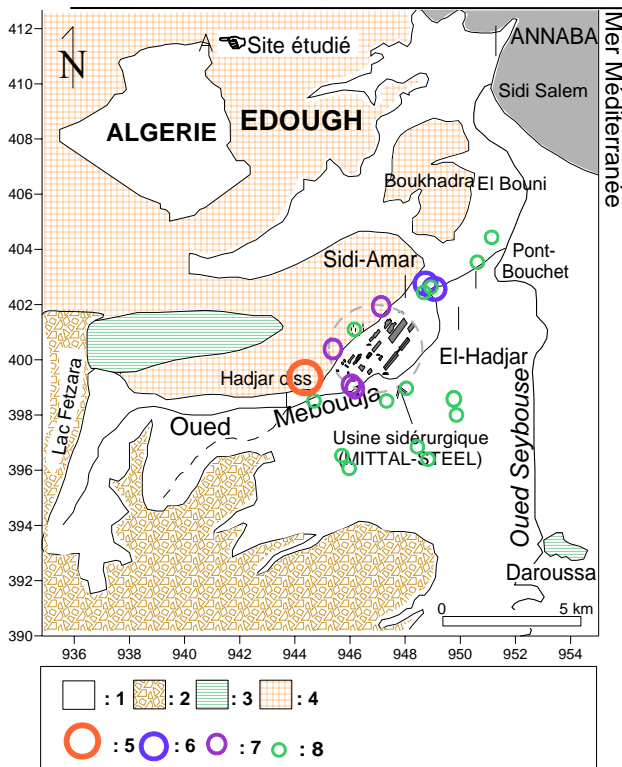


Fig. 30. Variation du Plomb dans le temps

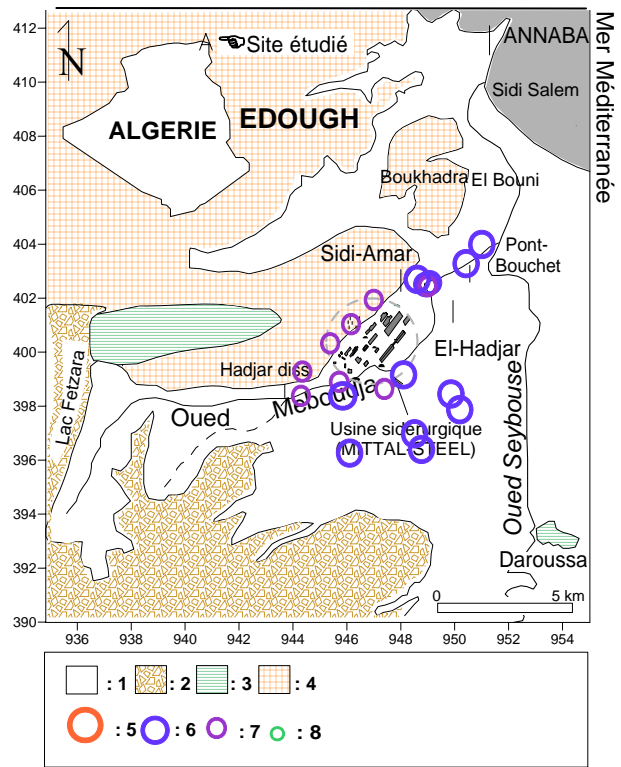
#### III.4.2.2.4.2. Evolution du Plomb dans l'espace :

Durant les deux périodes, la présence du Plomb dans les eaux de surface est faible à moyenne par rapport à sa teneur dans les eaux souterraines notamment dans les puits situés en bordure des routes (vers Hadjar Eddis et vers Guelma) ce qui permet de supposer qu'en plus de l'industrie le trafic routier constitue une origine probable du plomb dans le site étudié (fig. 31 et 32).



Légende :  
 1 à 4 : voir figure 22  
 5 : de 0.42 à 0.58 mg/l,  
 6 : de 0.27 à 0.42 mg/l,  
 7 : de 0.15 à 0.27 mg/l,  
 8 : de 0 à 0.15 mg/l.

Fig. 31. Evolution du Plomb dans l'espace (septembre 2005)



Légende :  
 1 à 4 : voir figure 22  
 5 : de 0.7 à 0.9 mg/l.,  
 6 : de 0.5 à 0.7 mg/l,  
 7 : de 0.3 à 0.5 mg/l,  
 8 : de 0 à 0.3 mg/l.

Fig. 32. Evolution du Plomb dans l'espace (mai 2006)

#### III.4.2.2.5. Variation de la concentration en Zinc :

Dans l'industrie, le zinc est employé dans la galvanisation ainsi que dans la fabrication des pigments pour la teinture.

##### III.4.2.2.5.1 .Evolution du Zinc dans le temps :

Les concentrations en zinc au niveau de la nappe superficielle, de graviers ou dans les eaux de surface, se trouvent faibles dans tous les points de mesure et pour toutes les campagnes sauf celle de septembre où elles atteignent des valeurs de 4.7 mg/l. Les pics observés dans les puits P14, P10 et P27 observés au mois de septembre et dans le P21 au mois de mai sont dus vraisemblablement à l'équipement des puits (fig. 33).

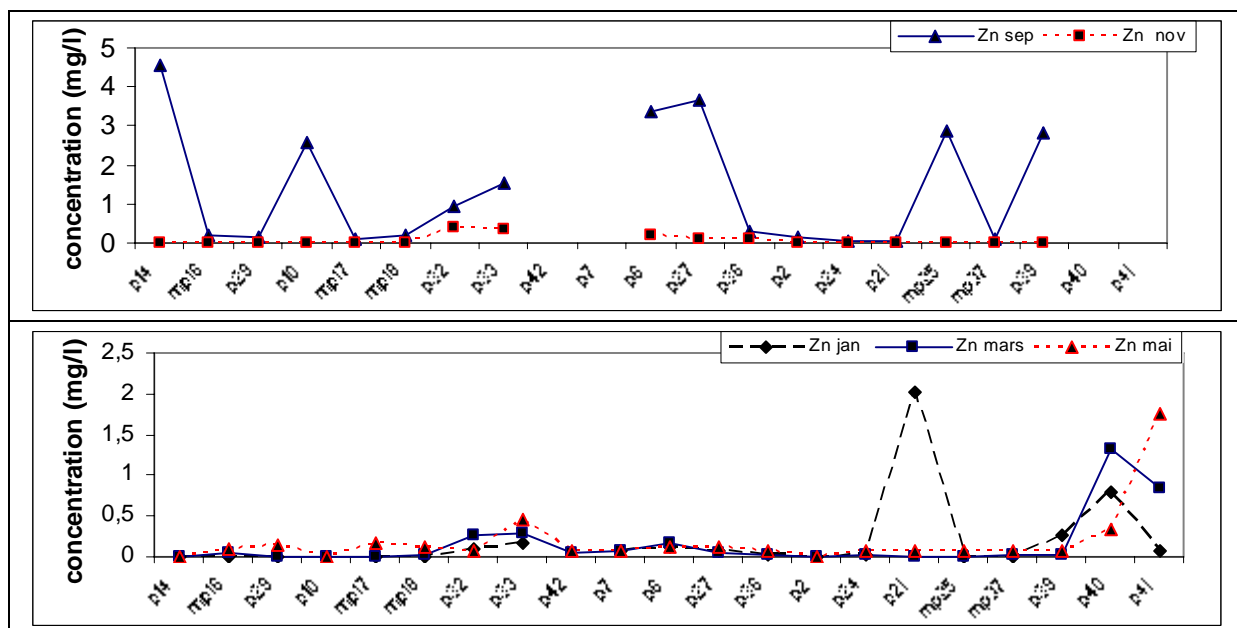
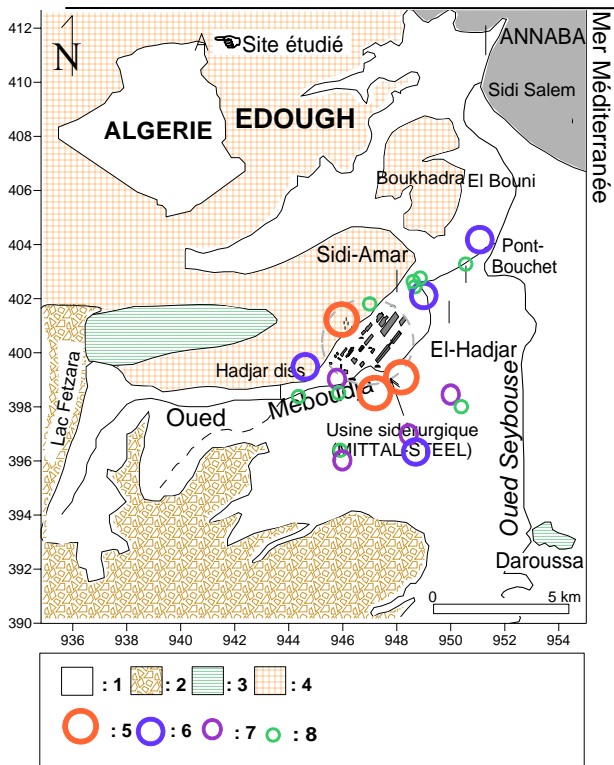


Fig. 33. Variation du Zinc dans le temps

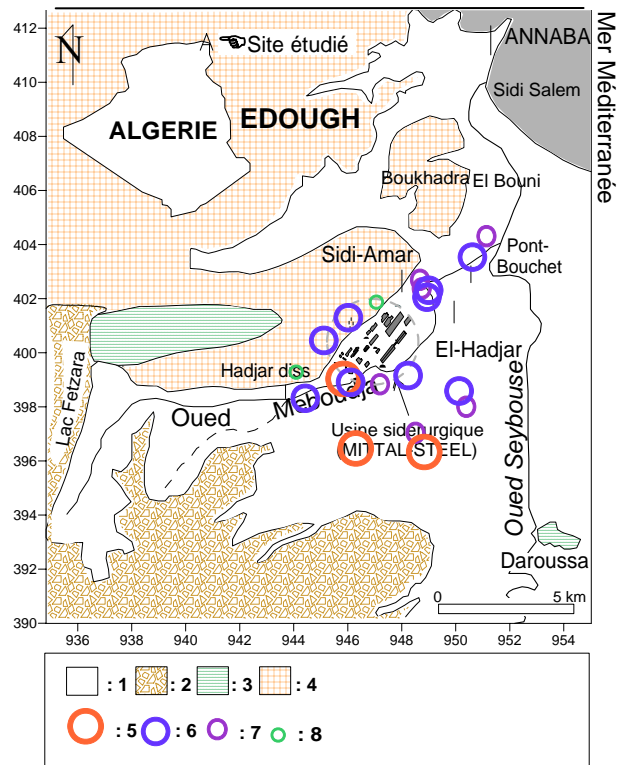
#### III.4.2.2.5.2. Evolution du Zinc dans l'espace :

Les concentrations du zinc au niveau de la nappe superficielle ainsi que dans les eaux de l'oued Meboudja, tendent à diminuer depuis l'amont vers l'aval hydraulique de l'oued. Durant la campagne de septembre, les teneurs les plus élevées (jusqu'à 4.5 mg/l) sont observées au niveau des eaux souterraines. Toutefois, en période des hautes eaux, les concentrations diminuent à cause de la dilution de cet élément par les précipitations dont l'origine peut être industrielle ou due à l'équipement des puits. (fig. 34 et 35).



Légende :  
 1 à 4 : voir figure 22  
 5 : de 3 à 4.5 mg/l,  
 6 : de 1.5 à 3 mg/l,  
 7 : de 0.2 à 1.5 mg/l,  
 8 : de 0 à 0.2 mg/l.

Fig. 34. Evolution de Zinc dans l'espace (septembre 2005)



Légende :  
 1 à 4 : voir figure 22  
 5 : de 0.15 à 0.45 mg/l,  
 6 : de 0.07 à 0.15 mg/l,  
 7 : de 0.06 à 0.07 mg/l,  
 8 : de 0 à 0.06mg/l.

Fig. 35. Evolution du Zinc dans l'espace (mai 2006)

### III.5. Analyse en composantes principales (ACP) :

Les données analytiques ont été traitées par l'Analyse en Composantes Principales. L'Analyse en Composantes Principales est en effet une méthode statistique multidimensionnelle descriptive, utilisable comme aide à l'interprétation d'une matrice de données (Travi et Mudry, 1997). Les matrices des données physico-chimiques comportent m analyses (ou éléments mesurés). Cette méthode, en cherchant les directions préférentielles d'allongement d'un nuage de points multidimensionnel (valeurs propres), permet de résumer l'information en projetant le nuage de points sur ses directions préférentielles (axes factoriels). Les facteurs sont des combinaisons linéaires des variables de départ. Chaque variable contribuant au facteur intervient avec un coefficient appelé vecteur propre. Pour l'analyse des teneurs chimiques, dont les gammes de variation peuvent être disparates, il convient de pondérer ces variables en les centrant et en les réduisant. Pour ce faire, les teneurs sont centrées sur une



moyenne nulle et divisées par l'écart type. La variance apportée par chacune des variables est dès lors égale à 1 et donc l'inertie (variance) totale du nuage de points égale à  $1 \times n$  si l'on traite  $n$  variables sur  $m$  individus. Le premier axe factoriel est celui qui explique le plus grand pourcentage de cette variance totale, le second explique ensuite le plus grand pourcentage de variance résiduelle.

Plusieurs analyses en composantes principales ont été effectuées sur les trois campagnes d'échantillonnage. Il s'agit des tableaux d'analyses effectuées aux mois de septembre, novembre 2005 et mai 2006 ainsi qu'une analyse globale des éléments chimiques dosés lors de toutes les campagnes. Seules les plus représentatives seront discutées dans cette partie.

### III.5.1. ACP de la campagne de septembre 2005 :

La matrice des données comporte 14 variables et 17 individus. Pour le traitement nous avons choisi quatre axes qui expriment 83.74% des renseignements.

Tableau 14 : Inerties totales (ACP septembre 2005)

axes	FI	FII	FIII	FIV
Valeurs propres	7.18	3.60	2.09	1.35
contribution	%42.26	1%21.2	12.33%	%7.94

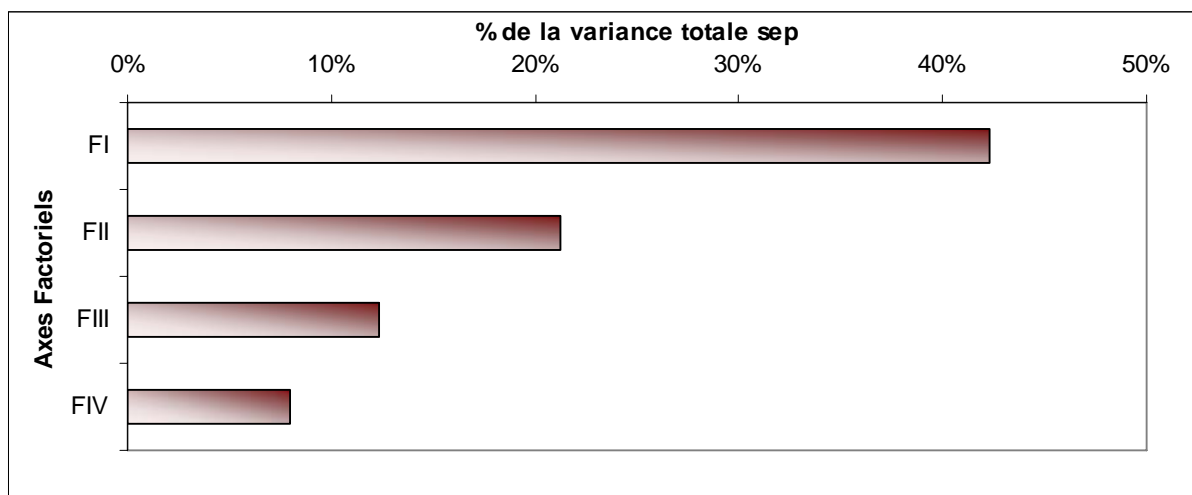


Fig. 36. Variances expliquées par les quatre axes factoriels (ACP septembre 2005)

Le tableau 14 et la figure 36 permettent de constater que plus de 40% de l'information est contenu dans le premier axe factoriel FI.

Pour interpréter cette ACP, nous allons nous contenter du cercle formé par les axes FI et FII, qui fournissent 63.47% de l'information (fig. 37a).

Le facteur FI (42.26% de la variance totale) montre un regroupement des éléments de la minéralisation, représentée par la conductivité électrique, corrélées au Ca, Mg, Na, Cl et SO<sub>4</sub> et avec un pH acide.

La projection des individus (fig. 37b) montre que ce groupe est bien représenté par les puits P27, P32, P33, P36 et P39 localisés dans la rive Est de la Meboudja.

Sur l'axe FII (21.2%), les eaux polluées par le Cr (T), Zn, Cu et Fe s'opposent au pH. Les fortes teneurs de ces polluants peuvent être expliquées par leur mise en solution dans le milieu acide. La projection des individus montre qu'il s'agit des eaux de puits de la nappe superficielle P6, P10 et P14, ainsi que les points d'eau superficielle M25 et M37 de l'oued Meboudja, deux points qui sont situés en aval de l'usine Mittal-Steel pour M25 et de la zone industrielle de Pont Bouchet pour le M37.

Tableau 15 : Matrice de corrélation (ACP septembre 2005)

	PH	T	CE	MES	TH	Ca	Mg	Na	SO <sub>4</sub>	Cl	HCO <sub>3</sub>	PO <sub>4</sub>	Zn	CrT	Pb	Cu	Fe
PH	1																
T	-0,33	1															
CE	-0,24	-0,23	1														
MES	-0,22	0,69	0,16	1													
TH	-0,20	-0,35	0,95	-0,03	1												
Ca	-0,22	-0,36	0,91	-0,09	0,99	1											
Mg	-0,16	-0,34	0,97	0,03	0,99	0,96	1										
Na	-0,10	-0,30	0,98	0,14	0,94	0,89	0,97	1									
SO <sub>4</sub>	-0,37	-0,18	0,86	0,07	0,88	0,87	0,88	0,83	1								
Cl	-0,14	-0,33	0,98	0,08	0,97	0,94	0,99	0,99	0,85	1							
HCO <sub>3</sub>	0,16	0,08	-0,24	-0,10	-0,27	-0,28	-0,24	-0,25	-0,15	-0,31	1						
PO <sub>4</sub>	0,02	0,27	-0,19	0,16	-0,26	-0,26	-0,26	-0,19	-0,33	-0,23	0,42	1					
Zn	-0,30	0,00	0,03	-0,06	0,07	0,12	0,01	-0,02	-0,04	0,05	-0,75	-0,28	1				
Cr T	-0,28	0,56	0,34	0,64	0,21	0,21	0,21	0,30	0,21	0,28	-0,30	0,23	0,39	1			
Pb	-0,10	-0,08	-0,39	-0,21	-0,29	-0,24	-0,34	-0,43	-0,32	-0,39	0,33	0,13	0,12	-0,34	1		
Cu	-0,33	0,31	0,08	0,23	0,14	0,17	0,10	0,08	0,16	0,12	-0,33	-0,10	0,50	0,38	0,16	1	
Fe	-0,27	0,76	-0,09	0,86	-0,23	-0,27	-0,19	-0,10	0,01	-0,15	-0,23	0,01	0,10	0,56	-0,23	0,32	1

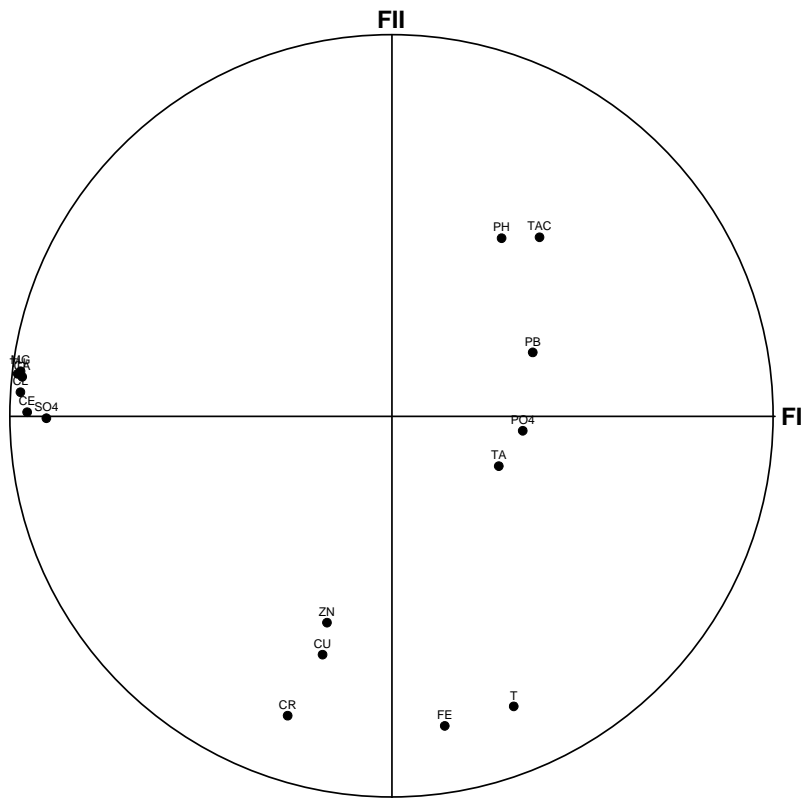


Fig. 37a. Cercle des variables. ACP de la campagne de septembre 2005 (Cercle I-II)

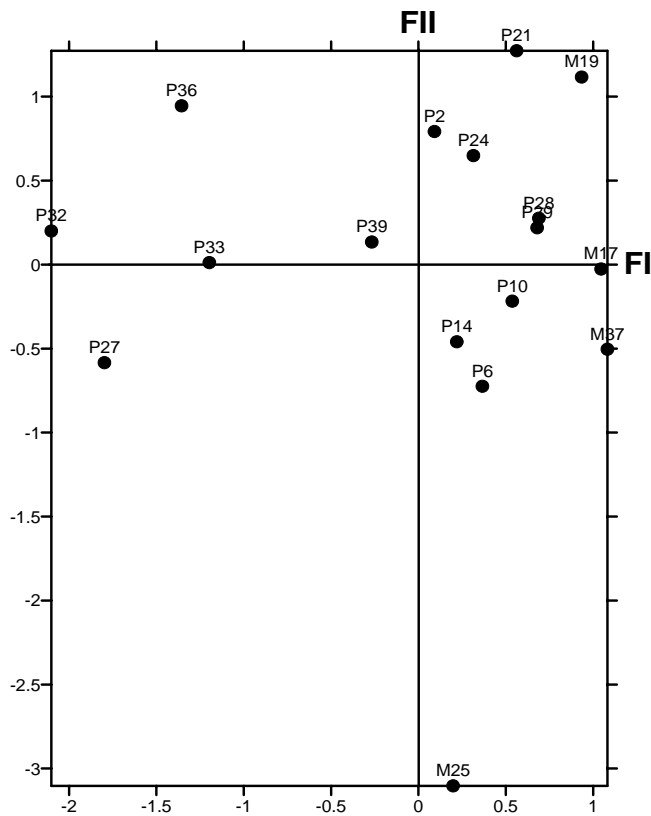


Fig. 37b. Plan I-II des individus. ACP campagne de septembre 2005.

### III.5.2. ACP de la campagne de novembre 2005 :

La matrice des données comporte 14 variables et 17 individus. Pour le traitement nous avons choisi quatre axes qui expriment 80.13% de l'ensemble des informations.

Tableau 16: Inerties totales (ACP novembre 2005)

axes	FI	FII	FIII	FIV
Valeurs propres	8.01	3.09	1.85	1.48
contribution	44.47%	17.14%	10.30%	8.22%

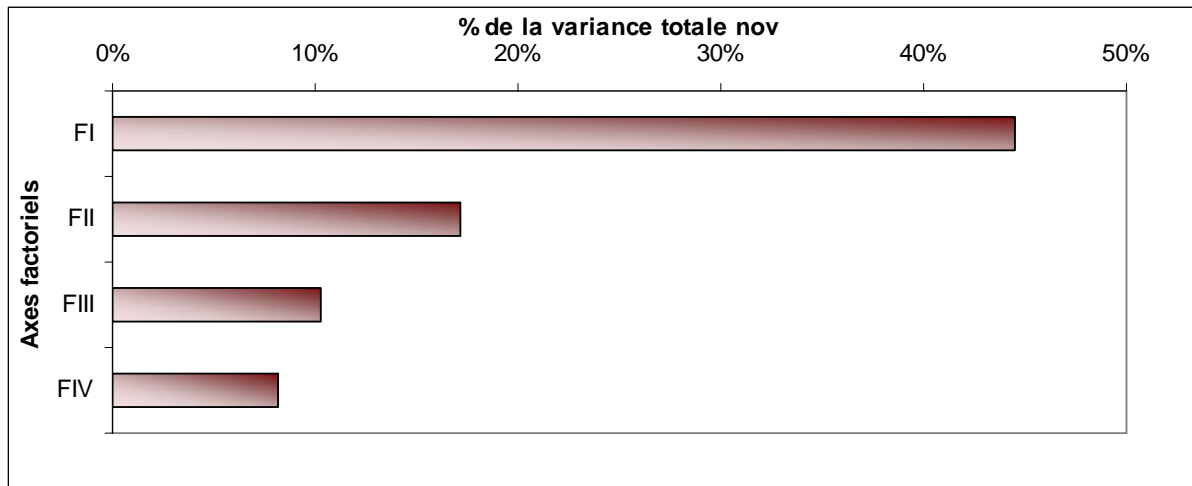


Fig. 38. Variances expliquées par les quatre axes factoriels (ACP novembre 2005)

Le tableau 16 et la figure 38 montrent que près de la moitié de la variance est expliquée par le premier axe factoriel FI.

La projection sur le cercle I-II (fig. 39a) montre l'existence de quatre ensembles :

- Deux ensembles sont corrélés au facteur FI (44.47%) dans sa partie positive et comportent le Zn et les éléments de la minéralisation ; Ca, Mg, Na, Cl, et SO<sub>4</sub> et qui sont bien corrélés à la conductivité électrique. La projection des individus (fig. 39b) montre que ce pôle regroupe les eaux des puits P27, P32, P33, P35 et P36 situés dans la rive Est de l'oued. Par contre, la partie négative de cet axe est occupée par le Fer, MES et NO<sub>2</sub> qui sont en relation avec le pH donc un milieu basique et qui caractérisent les eaux de surface M25 et M37.
- Sur le facteur FII (17.14%), le Cr (T) est en opposition avec Cu, ce qui traduit une origine différente de ces deux éléments. La projection des individus montre que cet axe explique les eaux de surface M16, M17 et M18 ainsi que les eaux des puits P2, P6, P10 et P28 qui se localisent de part et d'autre de l'oued Meboudja et aux alentours du Mitta Steel.

Tableau17 : Matrice de corrélation (ACP novembre 2005)

	PH	T	CE	MES	TH	Ca	Mg	Na	SO4	Cl	HCO <sub>3</sub>	PO4	NO <sub>2</sub>	Zn	Cr T	Pb	CU	FE
PH	1																	
T	-0,49	1																
CE	-0,51	0,12	1															
MES	0,70	-0,16	-0,14	1														
TH	-0,55	0,06	0,94	-0,26	1													
Ca	-0,59	0,08	0,93	-0,28	0,99	1												
Mg	-0,52	0,04	0,91	-0,22	0,98	0,94	1											
Na	-0,41	0,10	0,97	-0,04	0,88	0,86	0,86	1										
SO <sub>4</sub>	-0,43	0,29	0,63	-0,10	0,63	0,60	0,63	0,55	1									
Cl	-0,48	0,07	0,98	-0,14	0,95	0,94	0,93	0,98	0,57	1								
HCO <sub>3</sub>	0,26	0,26	-0,46	0,43	-0,52	-0,58	-0,44	-0,41	-0,05	-0,51	1							
PO <sub>4</sub>	0,33	-0,46	-0,23	0,42	-0,30	-0,29	-0,29	-0,19	-0,36	-0,24	0,29	1						
NO <sub>2</sub>	0,61	-0,27	-0,29	0,30	-0,34	-0,40	-0,30	-0,21	-0,19	-0,30	0,51	0,22	1					
Zn	-0,28	0,03	0,50	-0,25	0,60	0,59	0,58	0,53	0,05	0,59	-0,51	-0,28	-0,24	1				
Cr T	-0,29	-0,32	-0,16	-0,53	-0,01	0,04	-0,05	-0,29	-0,09	-0,17	-0,30	0,04	-0,32	0,02	1			
Pb	0,11	0,06	0,24	0,02	0,23	0,21	0,23	0,27	0,20	0,27	-0,29	-0,48	-0,04	0,12	-0,13	1		
Cu	0,11	-0,13	0,50	0,14	0,44	0,39	0,47	0,57	0,31	0,53	-0,22	-0,33	0,15	0,33	-0,49	0,36	1	
Fe	0,73	-0,37	-0,30	0,49	-0,38	-0,44	-0,34	-0,23	-0,22	-0,32	0,45	0,38	0,88	-0,31	-0,25	-0,001	0,003	1

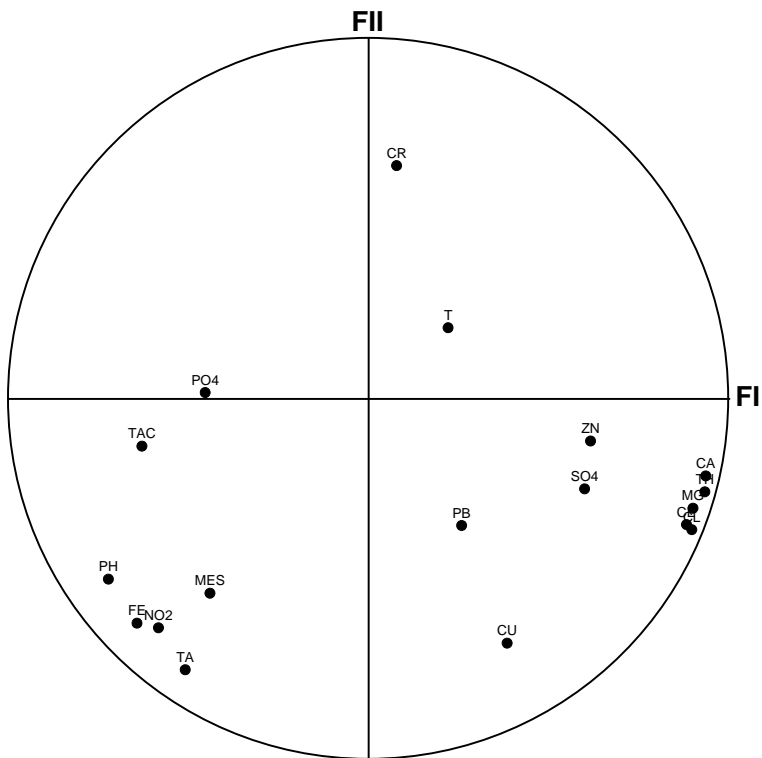


Fig. 39a. Cercle des variables. ACP de la campagne de novembre 2005 (Cercle I-II)

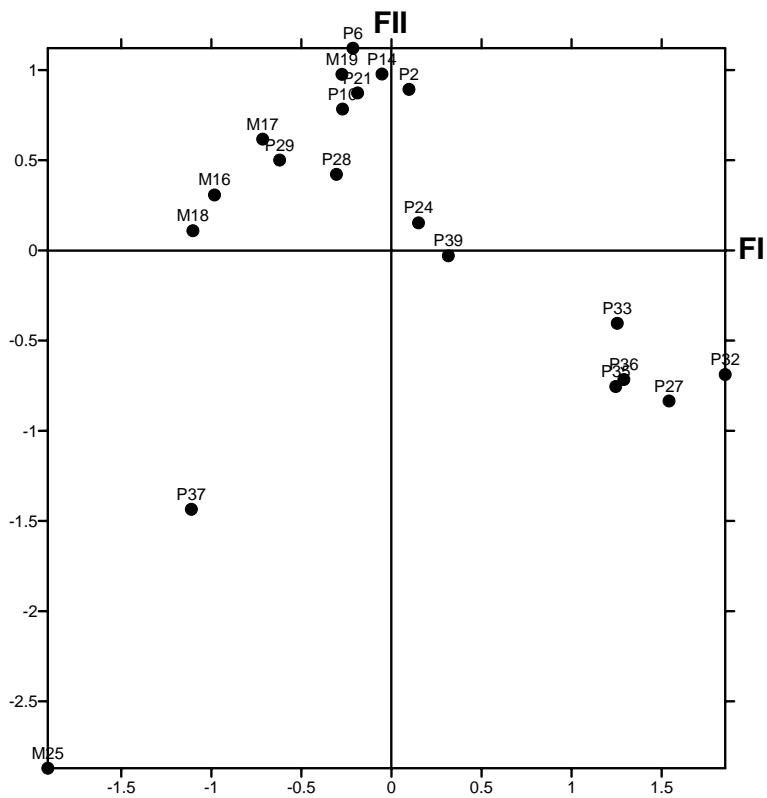


Fig. 39b. Plan I-II individus. ACP Campagne de novembre 2005.

### III.5.3. ACP de la campagne de mai 2006 :

La matrice des données comporte 20 variables et 15 individus. Pour le traitement nous avons choisi quatre axes qui expriment 80.04 % de l'ensemble des informations.

Tableau 18: Inerties totales (ACP mai 2006)

axes	FI	FII	FIII	FIV
Valeurs propres	11.24	1.95	1.59	1.3
contribution	56.18%	9.76%	7.95%	6.51 %

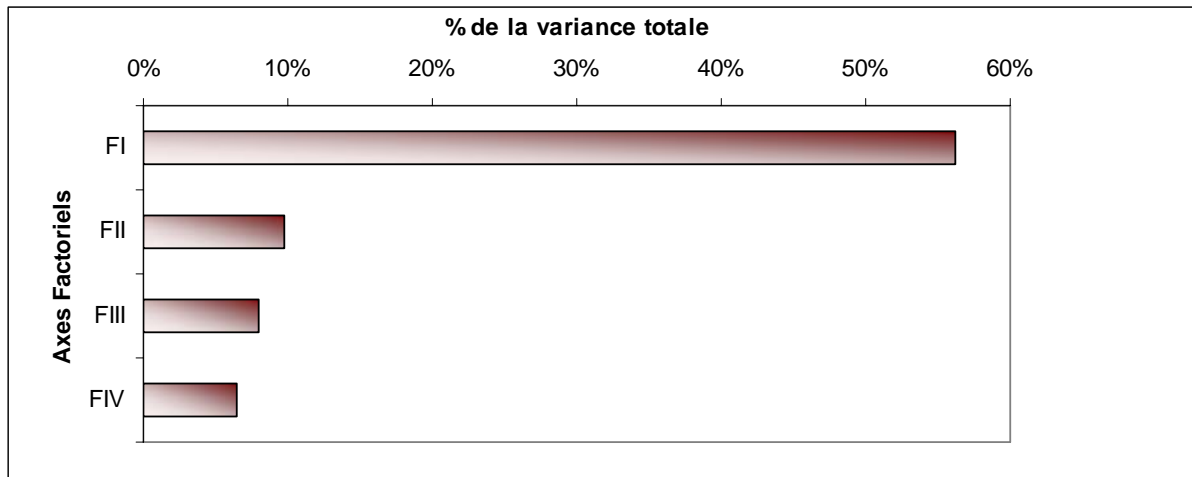


Fig. 40. Variances expliquées par les quatre axes factoriels (ACP mai 2006)

Le tableau 18 et la figure 40 permettent de constater que plus de la moitié de l'information est contenu dans le premier axe factoriel FI.

Le plan I-II du cercle de l'ACP de cette campagne (fig. 41a) représente 65.94 % de l'information. Le facteur FI avec 56.18% de l'inertie totale, montre une opposition entre les eaux à forte minéralisation : Ca, Mg, SO<sub>4</sub>, Na et Cl et les eaux polluées par les métaux lourds: Fe, Pb, Cr, Zn, Cu, NO<sub>2</sub>, PO<sub>4</sub> et MES, ce qui confirme une origine différente des deux pôles ; géologique pour le premier et anthropique pour le second.

Sur le même axe, on note également l'opposition des bicarbonates HCO<sub>3</sub> au pH traduisant ainsi l'action corrosive de ce dernier sur les formations géologiques.

Le facteur FII avec 9.76 % de la variance totale, marque l'existence de deux groupes, celui du Cr (T) et Pb en relation avec le E<sub>H</sub> et qui s'oppose aux Fe, Zn, Cr<sup>6+</sup>, MES, NO<sub>2</sub> et PO<sub>4</sub> qui se développent en milieu réducteur.

La projection des individus (fig. 41b) montre que le groupe de minéralisation traduit les eaux des puits P27, P36 et P39, celui de la pollution représente d'une part, les eaux de l'oued Meboudja (M17 et M18) ainsi que l'ensemble des puits P2, P6, P10, P14, P19 et P24 qui se situent dans le secteur de la zone industrielle.



Tableau 19 : Matrice de corrélation (ACP mai 2006)

	PH	T	CE	E <sub>H</sub>	MES	TH	Ca	Mg	Na	SO <sub>4</sub>	Cl	HCO <sub>3</sub>	PO <sub>4</sub>	NO <sub>2</sub>	Zn	Cr T	Pb	Cu	Fe	Cr <sup>6+</sup>	
PH	1																				
T	0,68	1																			
CE	-0,04	-0,22	1																		
E <sub>H</sub>	-0,71	-0,36	-0,07	1																	
MES	0,47	0,10	0,08	-0,49	1																
TH	-0,48	-0,28	0,21	0,18	-0,26	1															
Ca	-0,48	-0,42	0,08	0,35	-0,43	0,79	1														
Mg	-0,28	-0,21	0,43	0,11	-0,22	0,87	0,64	1													
Na	-0,15	-0,12	0,26	-0,14	-0,03	0,85	0,63	0,85	1												
SO <sub>4</sub>	-0,45	-0,37	0,35	0,11	-0,32	0,74	0,67	0,59	0,66	1											
Cl	-0,27	-0,16	0,15	0,04	-0,19	0,91	0,80	0,84	0,95	0,66	1										
HCO <sub>3</sub>	-0,05	-0,03	0,57	-0,08	0,13	0,16	-0,16	0,44	0,28	0,15	0,05	1									
PO <sub>4</sub>	0,17	0,23	-0,27	-0,17	-0,04	-0,32	-0,45	-0,31	-0,26	-0,30	-0,32	0,09	1								
NO <sub>2</sub>	0,12	0,15	-0,07	0,15	0,24	-0,12	-0,15	-0,17	-0,09	-0,18	-0,13	0,03	0,16	1							
Zn	-0,09	0,27	-0,40	0,10	0,04	-0,01	-0,28	-0,13	0,09	-0,21	0,06	-0,06	0,42	0,54	1						
Cr T	-0,30	0,22	0,08	0,27	0,05	0,16	-0,07	0,06	-0,06	-0,22	0,03	0,03	-0,20	0,07	0,29	1					
Pb	0,18	0,06	-0,04	0,35	-0,25	-0,42	-0,04	-0,23	-0,40	-0,15	-0,36	-0,13	-0,28	0,03	-0,36	-0,38	1				
Cu	0,52	0,55	0,09	-0,28	0,14	-0,23	-0,32	-0,01	0,16	-0,07	-0,03	0,33	0,25	0,10	0,22	-0,20	0,07	1			
Fe	0,58	0,72	-0,39	-0,50	-0,02	-0,41	-0,32	-0,48	-0,33	-0,36	-0,34	-0,25	0,19	0,09	0,04	0,03	0,01	0,27	1		
Cr <sup>6+</sup>	0,09	0,17	-0,08	0,15	0,34	0,03	-0,17	0,03	0,07	-0,11	-0,02	0,23	0,09	0,91	0,54	0,09	0,03	0,11	-0,07	1	

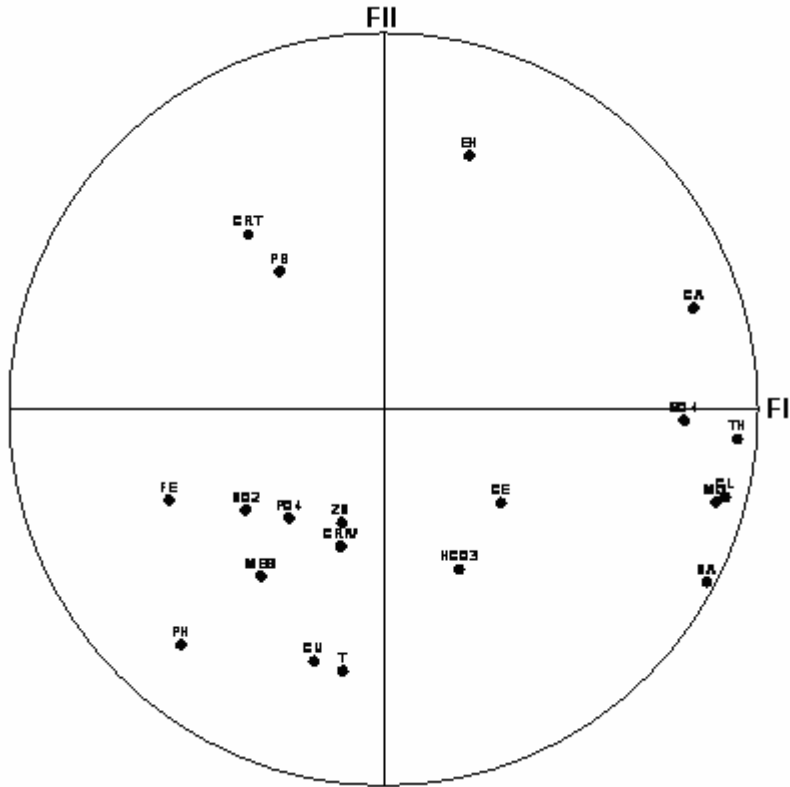


Fig. 41a. Cercle des variables. ACP de la campagne de mai 2006 (Cercle I-II)

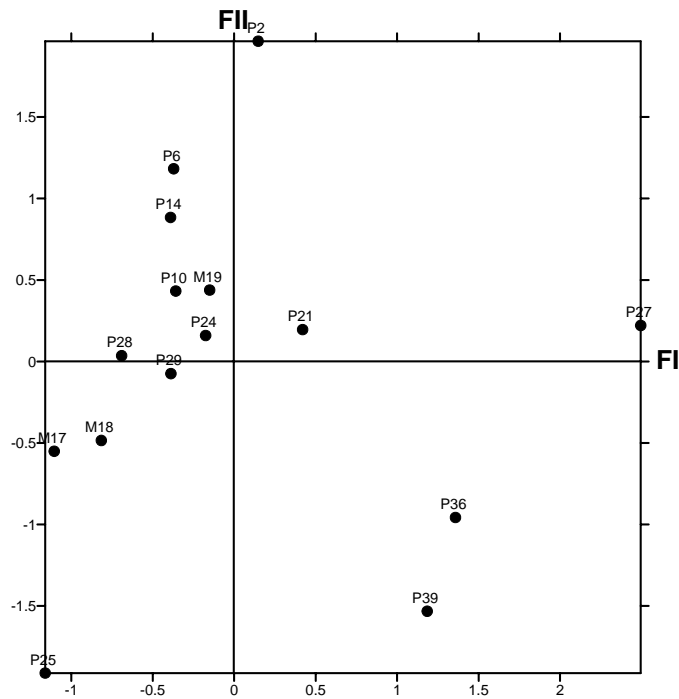


Fig. 41b. Plan I-II des individus. ACP de la campagne de mai 2006.

### III.5.4. L'ACP globale :

Cette ACP (fig. 54) a été réalisée sur 52 observations et 14 variables (les échantillons qui possèdent une analyse complète).

Tableau 20 : Inerties totales (ACP globale)

axes	FI	FII	FIII	FIV
Valeurs propres	2.34	2.05	1.44	1.35
contribution	16.73%	14.65%	10.33%	9.70%

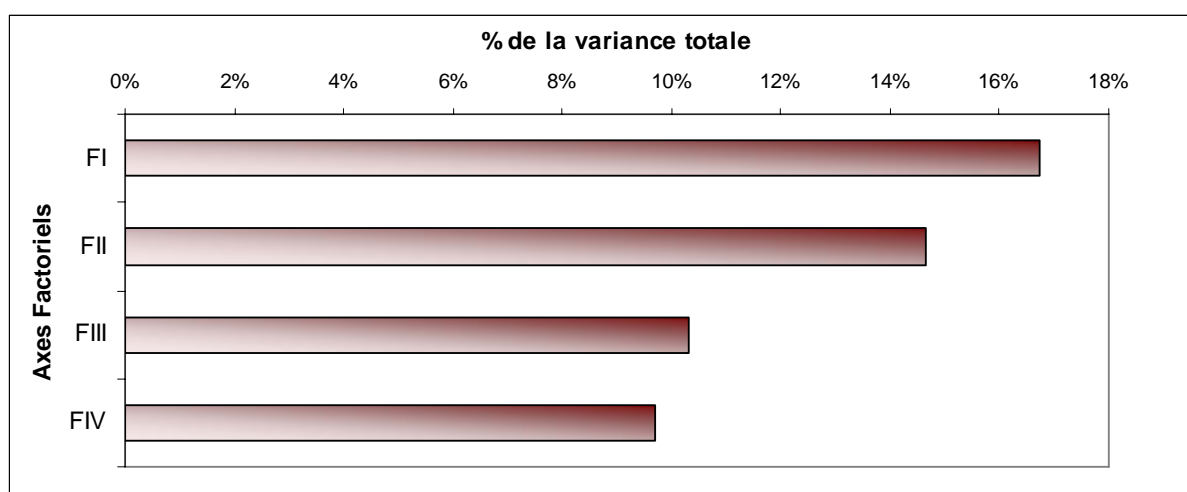


Fig. 42. Variances expliquées par les quatre axes factoriels (ACP globale)

Nous pouvons noter, d'après le tableau 20 et le graphe de la figure 42, que le taux d'information contenu dans les premiers axes est assez faible cela traduit l'existence de nombreuses sources d'acquisition de la chimie et donc de la pollution dans la plaine de l'oued Meboudja ; pollution urbaine, pollution industrielle, pollution agricole et contamination des eaux lors du contact avec la roche.

Le cercle I-II de l'ACP globale (fig. 43a) représente 31.38 % de l'information totale. Il met en évidence, sur l'axe FII dans sa partie positive, un groupe formé par les éléments de la minéralisation (Mg, Cl, TH, SO<sub>4</sub> et CE) opposé au pH traduisant leur dissolution dans le temps. Le Zinc, le Cuivre et la Température sont également corrélés à ce groupe de variables. Le facteur FI est par contre très mal expliqué.

La projection des individus des trois compagnes (fig. 43b) permet de discriminer essentiellement deux groupes de points : le premier groupe correspond aux points échantillonnés au mois de septembre représentant les basses eaux et qui sont caractérisés par une forte minéralisation due à la dissolution de la roche et à la

pollution des eaux par le zinc et le cuivre. On notera que ce sont surtout les points P27, P32 et P33, situés essentiellement dans le secteur d'El Kerma en aval hydraulique des écoulements souterrains dans la plaine de la Meboudja. A l'opposé le second groupe caractérise les points échantillonnés au mois de novembre caractérisés par de fortes teneurs en phosphates, plomb, chrome, sulfates et fer. Ce sont toutes les eaux de l'oued Meboudja recevant les rejets urbains des agglomérations environnantes et industriels et de l'ensemble des unités existantes. Les échantillons du mois de mai sont plutôt intermédiaires en raison de la dilution des teneurs en période de hautes eaux.

	pH	CE	Fe	SO <sub>4</sub>	PO <sub>4</sub>	TH	Ca	Mg	Cl	Zn	CrT	Pb	Cu	T
pH	1													
CE	0,13	1												
Fe	0,00	-0,15	1											
SO <sub>4</sub>	0,37	0,16	-0,05	1										
PO <sub>4</sub>	0,08	-0,37	0,17	0,04	1									
TH	0,10	0,30	-0,01	0,09	0,00	1								
Ca	-0,07	0,14	-0,03	-0,10	-0,15	0,06	1							
Mg	0,04	0,17	0,07	0,12	0,15	0,39	0,15	1						
Cl	0,18	0,31	0,12	0,17	-0,22	0,20	0,05	0,16	1					
Zn	-0,15	0,28	0,05	-0,20	-0,26	0,26	0,02	0,07	0,09	1				
Cr T	0,34	0,14	-0,04	0,37	0,00	0,14	-0,12	0,12	0,07	-0,15	1			
Pb	-0,03	-0,28	0,11	0,08	0,07	0,04	-0,03	0,15	-0,08	-0,17	0,28	1		
Cu	0,07	0,28	0,12	-0,09	0,06	0,01	0,04	0,13	0,15	0,30	-0,09	-0,22	1	
T	0,25	-0,01	0,00	-0,01	-0,12	0,09	-0,07	-0,01	0,20	0,22	0,00	0,03	0,17	1

Tableau 21 : matrice de corrélation (ACP globale)

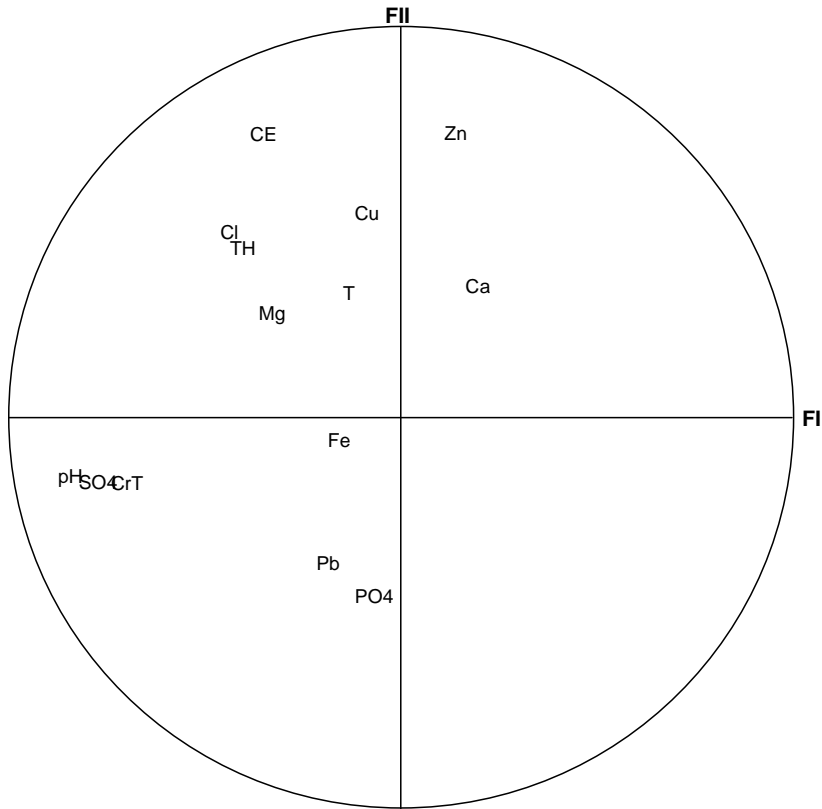


Fig. 43a. Représentation graphique de l'ACP globale (Cercle I-II)

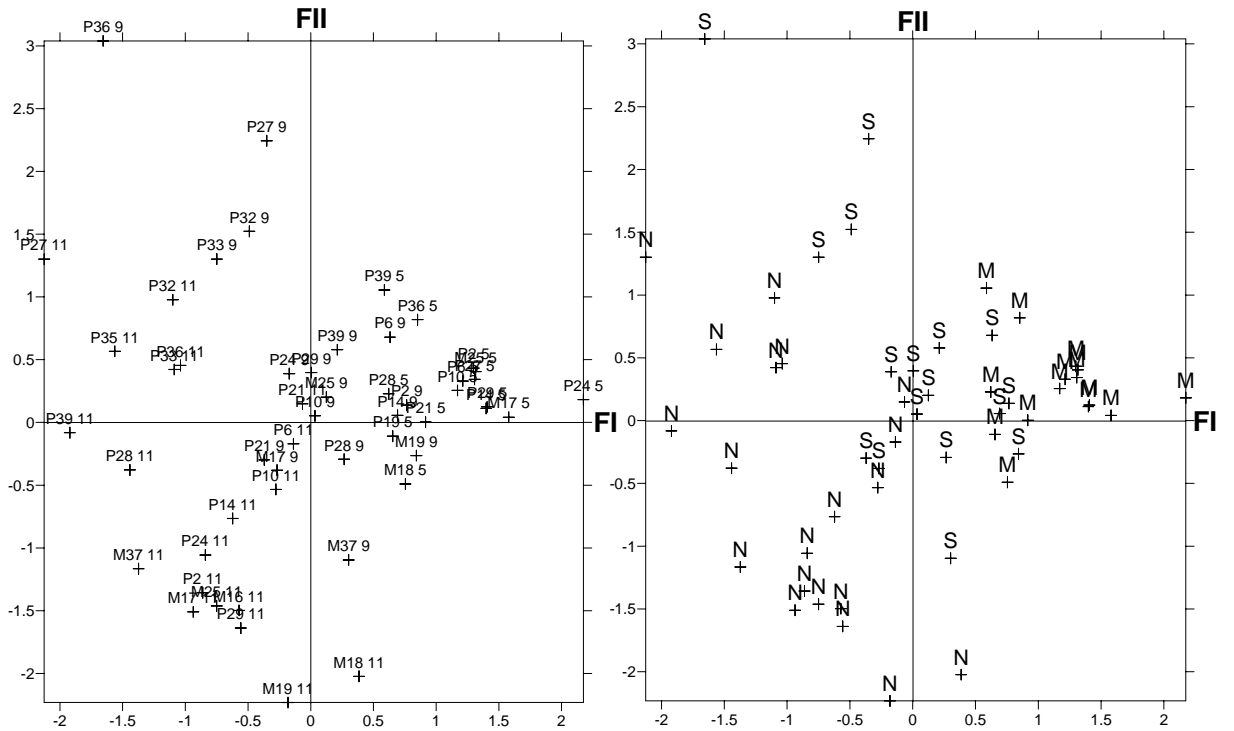


Fig. 43b. Projection des individus de la compagne globale (Plan I-II)

➤ *Deuxième partie :*

**III.6. Mise en évidence des interactions nappe-oued à l'aide d'un modèle mathématique (Modflow) :**

Dans le but de déterminer le champ des perméabilités de l'aquifère et en particulier au niveau des berges a été utilisé un modèle de simulation des écoulements dans un domaine multicouches. L'objectif était de mettre en évidence d'éventuelle relation entre les polluants et les perméabilités. Le modèle mathématique utilise la méthode des différences finies selon un maillage carré à mailles régulières (McDonald et Harbaugh, 1988).

**III.6.1. Cadre hydrogéologique du domaine étudié :**

La zone étudiée fait partie du domaine correspondant à la fosse de Ben-Ahmed qui est assimilée à deux couches communicant entre elles par drainance verticale à travers un horizon argilo-sableux semi-perméable : la première, se rapportant à l'horizon superficiel, représente la nappe phréatique et la seconde concerne l'horizon principal des graviers (fig. 4).

La nappe superficielle est limitée :

- Au Nord, le long de la côte, par le cordon dunaire qui contient une nappe à une charge plus élevée, ceci a pour effet de bloquer son écoulement vers la mer et de créer des marécages.
- A l'ouest, par les massifs anciens de l'Edough (micaschistes et gneiss) dont les parties altérées contiennent un aquifère de faible perméabilité, non exploité.
- Au Sud, par les argiles et grès numidiens.
- A l'Est, par les marécages de Mekrada.

La nappe profonde est limitée :

- Au Nord par la mer Méditerranée qui constitue son principal exutoire.
- A l'Ouest la nappe reçoit une faible alimentation à partir des cipolins et des alluvions des hautes terrasses.

- A l'Est, la continuité entre la nappe des graviers et le massif dunaire est établie grâce aux données de sondage et aux caractéristiques chimiques et isotopiques des eaux (Hani et al, 2003, in Hani 2003)
- Au Sud de Dréan, les graviers, à faible profondeur, sont en contact avec les roches numidiennes qui constituent une limite d'alimentation.

### III.6.2. Modélisation des écoulements souterrains :

Le domaine retenu, couvrant une superficie de 42.56 km<sup>2</sup>, est repéré dans le système Lambert par :

	<b>X</b>	<b>Y</b>
<b>Min.</b>	942.2	392.2
<b>Max.</b>	955.2	406.0

Il correspond à la fosse de Ben-Ahmed, et il est discrétisé horizontalement en 6450 mailles carrées de 200 m de côté et verticalement en trois couches ; la nappe superficielle, la couche semi-perméable et la nappe profonde des graviers.

#### III.6.2.1. Données d'entrée :

La première entrée dans le système est la recharge. La pluie efficace a été calculée avec les précipitations mensuelles par la formule de Thornthwaite (tableau 8). Pour le code numérique d'écoulement, il est nécessaire d'introduire les caractéristiques géométriques de chacun des trois horizons (fig. 5). L'introduction des valeurs de perméabilité de chaque couche est également indispensable. En effet, ce dernier dans le calcul des flux d'eau entrant ou sortant d'une maille, intègre pour chaque face de la maille, la vitesse de Darcy  $V = -K.gradh$  sur une surface  $\Delta x.h_m$  avec  $\Delta x$  : pas du maillage et  $h_m$  : charge calculée sur la face. Par conséquent, les valeurs de transmissivité issues des pompages d'essai effectués sur la nappe superficielle en se référant à la granulométrie et à l'épaisseur des alluvions ou de krigeage des transmissivités (pour la nappe des graviers) sont divisées par l'épaisseur de l'horizon considéré avant d'être introduites dans le modèle. La perméabilité de l'horizon semi-perméable est déterminée à partir de trois pompages d'essai de longue durée (Hani, 2003).

Les limites du domaine étudié sont les suivantes :

#### ■ La nappe superficielle :

A l'est l'oued Seybouse constitue une limite à potentiel imposé pour la nappe. A l'ouest la limite est formée par l'oued Meboudja qui constitue aussi une limite à potentiel imposé. Au sud ce sont les courbes piézométriques de août 1999 établies par Debieche (2002) qui imposent leur potentiel.

■ **Semi-perméable** : toutes les limites sont considérées à flux latéral nul.

■ **La nappe des graviers** : à l'Ouest les formations métamorphiques constituent une limite à flux entrant. A l'est et au sud les courbes piézométriques du mois d'août 1999 imposent leur potentiel.

Les débits entrants sont estimés grâce à la loi de Darcy :  $Q = SK \frac{\Delta h}{\Delta x}$  avec S : la section de l'aquifère, K : la conductivité hydraulique,  $\Delta h$  : la perte de charge entre mailles voisines,  $\Delta x$  : le pas de la maille.

En ce qui concerne les oueds Meboudja et Seybouse on les a assimilé à une condition de potentiel imposé en considérant que la hauteur d'eau correspondait au toit de la nappe (topographie). Après une série de calage, toutes les mailles ont été passées en mailles rivières permettant ainsi au modèle de simuler les flux entre l'aquifère et les eaux de surface.

### **III.6.2.2. Phase de calage :**

Le modèle permet de simuler des écoulements en régime permanent et transitoire dans un système. La piézométrie calculée est confrontée aux résultats de terrain et dépend de :

- des débits de pompage au niveau de certaines mailles,
- des niveaux des oueds,
- des flux imposés au niveau du coteau bordant la plaine d'El-Hadjar et des valeurs de la recharge efficace par les précipitations,
- des valeurs de la perméabilité au droit de chacune des mailles du système.

### **III.6.2.3. Ajustement des valeurs de perméabilité et du coefficient d'emménagement :**

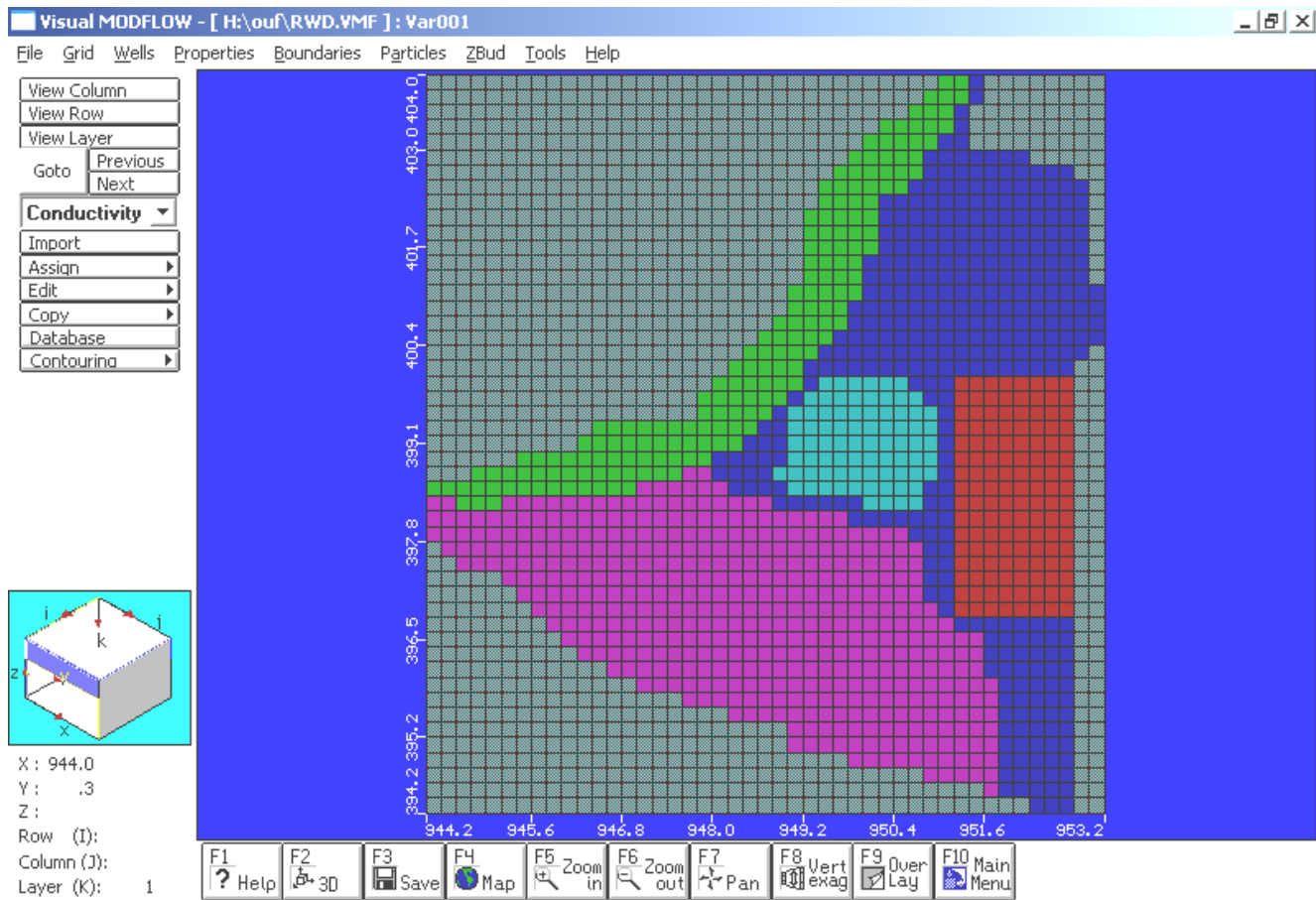
Les valeurs issues des résultats de terrain ont conduit dans une première phase à fixer des plages de perméabilité homogènes issues des cartes de transmissivités établies sur la base des données de pompage (Hani, 2003). L'état piézométrique initial choisi est celui de août 1999 et l'état final d'une année plus tard.



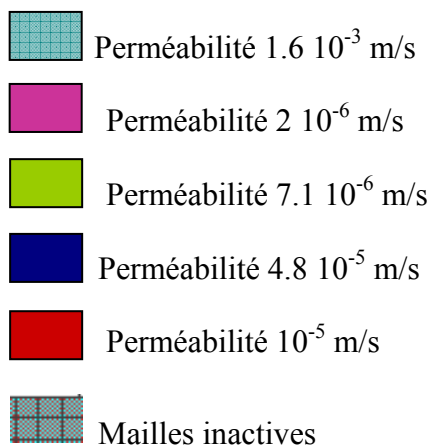
Les essais consécutifs du calage ont permis de modifier les valeurs de perméabilité afin d'aboutir à un écart maximum de 1 m entre les cotes piézométriques mesurées et simulées (fig. 44,45 et 46). On obtient ainsi une carte de répartition des valeurs de la perméabilité qui peuvent se traduire par une zonalité des perméabilités allant de  $10^{-3}$  à  $7,1.10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s (fig. 47).







**Légende :**



**Fig. 47.** Carte des perméabilités simulées de la nappe superficielle par le modèle

#### **III.6.2.4. Mise en évidence des interactions oued Meboudja-nappe alluviale :**

La perméabilité au niveau des berges varie de  $2.10^{-6}$  m/s en amont de la Meboudja à  $7,1.10^{-6}$  m/s en aval de l'oued. Ces valeurs, même si elles sont faibles, permettent de confirmer la relation permanente et continue entre les eaux superficielles de l'oued Meboudja et celles de la nappe superficielle.

Le calage du modèle permet également d'élaborer le bilan des nappes à savoir les entrées et les sorties au système durant une année. Il apparaît ainsi clairement que les relations entre l'oued et la nappe sont importantes et peuvent donc être à l'origine de la pollution des eaux souterraines compte tenu de la forte contamination de l'oued Meboudja par les différents rejets urbains et industriels.

#### **III.6.2.5. Exemple de l'évolution des teneurs en fer :**

L'étude de la variation dans le temps en fer sous-tendue par les trois phénomènes suivants (Chauve et al, 1986) :

- les relations nappe-oued (drainage et alimentation),
- les variations saisonnières (température, oxygène dissous),
- les infiltrations à travers le couvert pédologique qui peuvent entraîner du fer complexé et des substances réductrices.

Les évolutions de la concentration en fer ont été suivies bimensuellement depuis septembre 2005 jusqu'à mai 2006.

Globalement on constate une diminution brutale et simultanée de la concentration du fer, au niveau des eaux de surface et souterraine, depuis septembre jusqu'à janvier due vraisemblablement à la dilution par les eaux de pluies.

A partir du mois de janvier une augmentation nette de la teneur en fer est observée dans les eaux de la nappe liée probablement à :

- l'alimentation de la nappe à partir de l'oued
- la distance par rapports aux berges de l'oued Meboudja
- la présence des niveaux argileux qui peuvent jouer le rôle d'un écran en surface, favorisant les conditions réductrices dans la nappe (fig. 47).
- la diminution de  $E_H$  qui, liée à une diminution de pH, favorise la mise en solution des du fer (Chauve et al, 1986).

Dans le cadre de ce travail, l'utilisation des résultats du modèle, notamment la carte de distribution des perméabilités, est en mesure d'expliquer la distribution des teneurs

en fer et probablement d'autres éléments. En effet, il semble que les secteurs de fortes concentrations en Fe (P30, P32 et P33) coïncident globalement avec les zones argileuses de l'aquifère. Ces dernières interviennent essentiellement en limitant les possibilités d'oxygénation de la nappe, ce qui a pour conséquence des conditions réductrices locales plus ou moins intenses et donc des secteurs de nappe contenant plus de fer.

En conclusion, l'utilisation d'un modèle mathématique peut s'avérer un puissant outil pour expliquer la distribution géographique des métaux lourds observés au niveau de certains puits de la nappe.

Le schéma synthétique de la figure 48, inspiré des travaux de Chauve et al. (1986), montre en effet qu'une forte épaisseur des niveaux argileux et des limons peut jouer le rôle d'écran en surface et favoriser les conditions réductrices dans la nappe. Ces dernières sont notablement renforcées lorsque des matières organiques s'associent aux argiles.

Au cours de leur transit vers la nappe les eaux de l'oued riches en matières organiques provoquent au niveau des berges une prolifération bactérienne qui se manifeste par une diminution de l'oxygène dissous, du pH, du  $E_H$  et une mise en solution du fer et du manganèse avec dégagement de  $H_2S$  et  $NH_4$ .

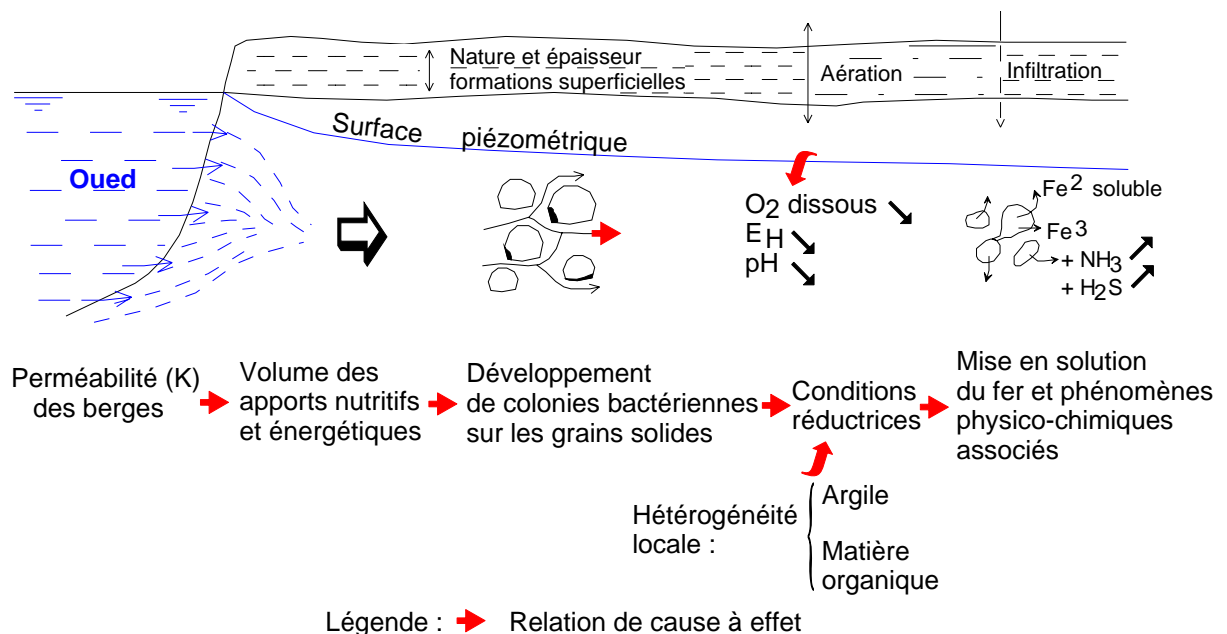


Fig. 48. Schématisation de l'évolution des teneurs en fer dans la nappe alluviale

### III.7. Conclusion :

L'étude hydrochimique ainsi que l'analyse en composantes principales réalisées nous ont permis de déterminer l'origine naturelle, industrielle ou urbaine du chimisme des eaux de surface et des eaux souterraines de la région d'étude

- ❶ La nappe superficielle affectée par plusieurs processus de la pollution :
  - naturelle due au lessivage des formations géologique et traduite par la forte salinité
  - agricole marquée par la forte concentration en  $\text{NO}_2$  qui atteint 38 mg/l dans les puits P29 et P24.
  - industrielle par la présence du Cr, Pb, Cu, Fe et Zn qui sont rejetés par les différentes unités industrielles présentes dans la zone industrielle de Meboudja, la zone industrielle de Pont Bouchet et surtout le complexe sidérurgique Mittal steel.
  - urbaine marquée par la présence du  $\text{PO}_4$  et  $\text{NO}_2$  à des fortes concentrations.
- ❷ La nappe profonde se trouve aussi contaminé par quelques éléments polluants tels que Fe, Zn, Cr, Na et Cl du fait des échanges qui s'effectuent avec la nappe superficielle à travers la couche semi-perméable ainsi qu'à travers les équipements des ouvrages de captage.
- ❸ Les eaux de surface sont également affectées par les différents types de pollution : industrielle, urbaine et agricole du fait qu'elles constituent le premier récepteur des différents rejets. Cette contamination est marquée par les fortes teneurs en Fe, Cr,  $\text{PO}_4$ ,  $\text{NO}_2$ , MES...etc.

L'utilisation d'un modèle mathématique peut s'avérer un puissant outil pour expliquer la distribution géographique des métaux lourds observés au niveau de certains puits de la nappe.

L'utilisation des résultats du modèle, notamment la carte de distribution des perméabilités, est en mesure d'expliquer la distribution des teneurs en fer et probablement d'autres éléments. En effet, il semble que les secteurs de fortes concentrations en Fer coïncident globalement avec les zones argileuses de l'aquifère.

Ces dernières interviennent essentiellement en limitant les possibilités d'oxygénation de la nappe, ce qui a pour conséquence des conditions réductrices locales plus ou moins intenses et donc des secteurs de nappe contenant plus de fer.



## Conclusion générale & recommandations

Au terme de ce mémoire nous essayerons de souligner brièvement les principaux résultats obtenus et de proposer des mesures urgentes pour stopper la dégradation de la qualité des eaux dans la région.

La région d'étude qui fait partie de l'ensemble géologique du Tell Algérien Nord Oriental, présente des affleurements de terrains métamorphiques, des roches éruptives et des terrains sédimentaires qui bordent la plaine de Annaba.

Le système aquifère de Annaba est constitué de formations du mio-plio-quadernaire comblant une zone d'effondrement.

L'étude géométrique confirme l'extension et la superposition des nappes superficielle et profonde qui sont séparées par un niveau semi-perméable. Celui ci disparaît au sud de la plaine laissant se confondre les deux nappes.

L'étude de l'évolution du niveau piézométrique nous a permis de mettre en évidence la relation qui existe entre l'oued et la nappe témoignant ainsi du drainage de la nappe par l'oued dans le secteur amont (région de Derradji Redjem) et le cas contraire dans le secteur aval (la nappe draine l'oued).

L'étude hydrodynamique des deux nappes montre les caractéristiques suivantes:

Pour la nappe superficielle, la transmissivité oscille entre  $2 \cdot 10^{-2}$  et  $8 \cdot 10^{-5}$   $m^2/s$  et les perméabilités verticales variant entre  $10^{-6}$  et  $5 \cdot 10^{-5}$   $m/s$  ce qui rend la nappe superficielle vulnérable à la pollution.

Concernant la nappe captive, la transmissivité varie entre  $10^{-3}$  et  $4.5 \cdot 10^{-2}$   $m^2/s$  et son coefficient d'emménagement est compris entre  $10^{-4}$  et  $10^{-3}$ .

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 560 mm et 670 mm sous une température moyenne de l'ordre de 17.80 °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 209 mm, 172 mm et 156 mm respectivement pour les stations des Salines, Pont Bouchet et El Kerma. A partir du

mois de mai, la RFU commence à s'épuiser jusqu'au mois de juin où elle devient nulle, ce qui traduit un déficit agricole.

L'étude hydrochimique réalisée nous a permis d'appréhender l'origine naturelle, industrielle, agricole ou urbaine du chimisme des eaux de surface et des eaux souterraines de la région d'étude.

Ainsi, la nappe superficielle est affectée par plusieurs processus de minéralisation et de pollution :

- le processus naturel est dû au lessivage des formations géologiques qui se traduit par une forte salinité,
- la pollution agricole est marquée par la forte concentration en  $\text{NO}_2$  qui atteint 38 mg/l dans les puits P29 et P24.
- la pollution industrielle se traduit par la présence du Chrome, Plomb, Cuivre, Fer et Zinc qui sont rejetés par les différentes unités industrielles présentes dans les zones industrielles de Meboudja et de Pont Bouchet et surtout le complexe sidérurgique Mittal steel.
- la pollution urbaine est mise en évidence grâce à la présence du  $\text{PO}_4$  et  $\text{NO}_2$  à des fortes concentrations.

La nappe profonde se trouve aussi contaminé par quelques éléments polluants tels que Fer, Zinc, Chrome, Sodium et Chlorures du fait des échanges qui s'effectuent avec la nappe superficielle à travers la couche semi-perméable ainsi qu'à travers les équipements des ouvrages de captage.

Les eaux superficielles sont également affectées par différents types de pollution : industrielle, urbaine et agricole du fait qu'elles constituent le premier récepteur des différents rejets. Cette contamination est marquée par les fortes teneurs en Fer, Chrome, Phosphates, Nitrites, Matières en suspension...etc.

L'utilisation des résultats du modèle mathématique Modflow, notamment la carte des perméabilités nous ont permis d'expliquer la distribution des teneurs en fer qui semble liées aux zones argileuses dans l'aquifère en mettant en évidence le rôle de ces zones qui favorisent les conditions réductrices locales et donc les fortes concentrations du fer.

La présente étude a permis de constituer un stock important d'informations pour l'évaluation de la contamination des eaux dans la région d'El-Hadjar.

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

- Les effluents non traités rejetés par les unités industrielles doivent être contrôlés pour maintenir les concentrations en dessous des standards de qualité des eaux notamment pour les métaux lourds.

- Pour réduire les interactions eaux superficielles - eaux souterraines, il est impératif de modérer, voire interdire, l'exploitation des eaux souterraines sur les bordures de la Meboudja.

- 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

**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.

**Derradji F., 2004.** Identification quantitative et qualitative des ressources en eau de la région de Annaba- El Tarf (Nord-Est Algérien). Th. Doct. Es-Sciences, Univ. Annaba. 237p.

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

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

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

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

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

**Hani, A., 2003.** Analyse 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.

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

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

**Nafâa, K., 1985.-** Nappes superposées en région côtière, hydrodynamique et hydrochimie (aquifère de Annaba) Nord Est algérien. Th. Doct. Ing. USTL, Montpellier, 159p.

- McDonald, M.G., and Harbaugh, A.W., 1988.** A modular three-dimensional finite-difference groundwater flow model : Washington, DC, U.S. Geological Survey Open-file Report 83-875.
- O.M.S., 2004.** Guidelines for drinking-water quality, Vol. 1, Recommendations, 3<sup>rd</sup> Ed., World Health Organization, Geneva.
- Ramdani A., 1996.** Hydrogéologie et modélisation de la nappe dunaire de Bouteldja. Mém. Magistère Univ. 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.
- 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.