



Faculté des Sciences de la Terre

Département de Géologie

Mémoire

PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE MAGISTER

**Impact des rejets industriels du complexe
sidérurgique sur les eaux superficielles et
souterraines dans la plaine de Meboudja.**

Option

Hydrochimie

Par

BOUGHERIRA NABIL

(Ingénieur d'Etat en Hydrogéologie)

DIRECTEUR DE MÉMOIRE :

A. HANI

Professeur (U. A)

DEVANT LE JURY

PRESIDENT :

S. CHAAB

MC (U.B.M. Annaba)

EXAMINATEURS :

L. DJABRI

Professeur (U.B.M. Annaba)

H. CHAFFAI

MC (U.B.M. Annaba)

الملخص:

- ان التطور الكبير الذي يعرفه المحيط الحضري و الصناعي مرتبط في العديد من الدول بمشكل المياه ءاذ يعتبر الماء منذ زمن بعيد
- ان اللجوء في سهل عنابة حتمي مورد طبيعي مجاني ,استغلاله سهل و غير مكلف, بمعنى اخر بدون قيمة .
- سواء بالنسبة للمياه الجوفية او الماء المستعمل للاغراض الصناعية- للمياه السطحية او لمياه الوديان. هادين الاخرين و رغم صفاءهم و نقاوتهم نسبيا في بداية القرن,قد اصبحوا معرضين لخطر التلوث في شكل نفايات صناعية(خاصة المعادن الثقيلة كالحديد,المنغنيز,الكروم,الرصاص والنحاس) او نفايات منزلية, والتي تصبح مع مرور الوقت غير صالحة لاي استعمال بدون تحليل المياه الجوفية كذلك لم تسلم من هذا التلوث ,فلاحظ بذلك تواجد تركيزات اولي, قد يكون معقد او مكلف في اغلب الاحيان.
- (عناصر معدنية اساسية و عناصر عضوية). -متنامية داخل حلقة مفرغة بينما و كنتيجة لفعال "انفجار" او لفعال غسيل الطبقات الجيولوجية,فان تلوث المياه الجوفية المتوفرة يتزايد بطريقة خطيرة.

الكلمات المفتاح : المحيط ، المياه الجوفية، التلوث، المعادن الثقيلة،التمعدن ، الطبقات الجيولوجية .

Abstract:

The spectacular evolution of urban and industrial environment in many countries is related **to the problem of water.**

For a long time, water was considered as natural source, free, easy to exploit, cheap and as it were: worthless.

In Annaba's plain, it is necessary to resort either for drinkable water or for water for industrial usage to the water of surfaces or of rivers.

These last, are relatively clean in the beginning of the century, become unfortunately, more and more exposed to pollution in the form of industrial discharge (essentially heavy metals as iron, manganese, chromium, brass and lead) or domestic one that make them unsuitable for all use, without a preliminary treatment which is complicated and often costly.

The aquifers are also exposed to this general contamination, and thus many concentrations (major elements of mineralization as Ca, Mg, HCO_3 , and organic elements) grows within a vicious circle while and as effect of "Boomerang" or the action of the washing of geological formation, the pollution of available water increase dangerously.

Keywords: environnement, water, Pollution, Heavy metals, Mineralization, aquifers, geological formation.

Résumé :

L'évolution spectaculaire que connaît l'environnement urbain et industriel pose, dans de nombreux pays, **le problème de l'eau**. Pendant longtemps, l'eau a été considérée comme un bien naturel, gratuit, d'exploitation facile, bon marché et, pour ainsi dire, sans valeur.

Dans la plaine d'Annaba ; Force est donc de recourir, tant pour l'eau potable que pour l'eau à usage industrielle, aux eaux de surface, eaux de rivières. Ces dernières, encore relativement propres au début du siècle, sont malheureusement exposées de plus en plus à la pollution, sous la forme de rejets d'effluents industriels (essentiellement en métaux lourds tels que le Fer, le Manganèse, Chrome, le Plomb et le cuivre), ou domestiques, et deviennent progressivement impropres à tout usage, sans un traitement préalable pouvant être compliqué et souvent onéreux.

Les nappes aquifères n'échappent pas, en outre, à cette contamination générale, on voit donc qu'un cercle vicieux s'amorce dans lequel des concentrations (éléments majeurs de la minéralisation comme le Ca, Mg, CO₃, éléments organiques) croissent, tandis que, par effet de « boomerang », ou l'action de lessivages des formations géologiques la pollution des eaux encore disponibles s'aggrave dangereusement.

Mots clés : environnement, Eaux, souterraine, Pollution, Métaux lourds, minéralisation, nappes aquifères, formations géologiques.

Liste des tableaux	Page
Tableau 1 : Les coordonnées Lambert des stations étudiées	21
Tableau. 2 : Variation des températures moyennes mensuelles en (°C) à la station des salines (1972 → 2007).....	25
Tableau.3 : Moyenne mensuelle de la vitesse des vents en m/s à la station des Salines (1984 → 2005).....	27
Tableau 4 : Moyennes mensuelles de l'humidité relative à la station des Salines en % (1974 → 2005).....	27
Tableau 5 : Bilan évaporométrique de C.W Thornthwaite à la station des Salines (Année hydrologique : 1972/06, Réserve utile supposée: 100 mm).....	27
Tableau 6 : Bilan évaporométrique de C.W Thornthwaite à la station de Pont Bouchet (Année hydrologique : 1977/2005, Réserve utile supposée: 100 mm).....	30
Tableau 7 : l'ETR par la méthode de Turc.....	
Tableau 8 : Description et utilité de chaque analyse.....	31
Tableau 9 : le pH des eaux naturelles	
Tableau 10 : calcul de la minéralisation à partir de la conductivité.....	32
Tableau 11 : longueurs d'ondes et le type de gaz utilisé.....	
Tableau 12 : Dépenses d'eau potable au niveau de l'usine	39
Tableau 13 : Inventaire des usines existant dan la région d'étude. Source : Agence des bassins hydrographiques.....	40
	42
Tableau 14 : Les métaux lourds et les solutions de traitement.....	51

Tableau 15 : Quelques méthodes d'élimination des métaux lourds	60
	61
	62
	62

Liste des figures	Page
Fig. 1. Localisation de la zone à l'étude	4
Fig. 2. Carte géologique de la région d'étude	5
Fig. 3. Bloc diagramme au travers de la plaine de Annaba	10
Fig. 4. Coupes au travers de la plaine de Annaba	13
Fig. 5. Coupes au travers de la plaine de Annaba.....	14
Fig. 6. Carte d'inventaire des points d'eau de la zone d'étude.....	15
Fig. 7. Evolution spatiale et temporelle du niveau piézométrique.....	17
Fig. 8. Apparition du niveau de la nappe superficielle dans un puits au secteur d'el Karma.....	18
Fig. 9. puits qui sert à l'irrigation des terres avoisinantes du complexe sidérurgique.....	19
Fig. 10. Localisation des stations de la zone à 'étude.....	22
Fig. 11. a) Histogrammes des précipitations moyennes mensuelles (mm) des salines.....	23
Fig. 11. b) Histogrammes des précipitations moyennes mensuelles (mm) d'el karma	23
Fig. 11. c) Histogrammes des précipitations moyennes mensuelles (mm) de pont Bouchet.....	23
Fig. 12. a) Diagramme ombrothermique des Salines Données Office de la Météo Nationale (1972-2007).....	24
Fig. 12. b) Diagramme ombrothermique : Précipitations El Kerma – Températures les Salines (Données Office de la Météo Nationale 1977-2006).....	24
Fig. 13. Répartition des différents secteurs 'études.....	

Fig. 14. Instruments utilisés.....	26
Fig. 15. l'oxydo-réduction.....	
Fig. 16. Spectrophotomètre d'absorption atomique à flamme (Perkin Elmer Analyst 3110).....	26
Fig. 17. Appareil d'absorption atomique.....	
Fig. 18. Schéma de principe de spectrophotomètre d'absorption atomique.....	36
Fig. 19. Loi de Beer-Lambert	37
Fig. 20. lampe à cathode creuse.....	43
Fig. 21. Variations des éléments majeurs	
Fig. 22. Variations de la Température	44
Fig. 23. Evolution temporelle du Fer (T).....	
Fig. 24. Evolution temporelle du (Zn ²⁺).....	46
Fig. 25. Evolution temporelle du (Mn ²⁺).....	47
Fig. 26. Evolution temporelle du (Cr T).....	49
Fig. 27. Evolution temporelle du (Pb ²⁺).....	
Fig. 28. Evolution temporelle du (Cu ²⁺).....	50
Fig. 29. Evolution temporelle du(Ni ²⁺).....	53
Fig. 30. Localisation des sites de prélèvement.....	56
Fig. 31. Evolution des niveaux d'eau dans l'oued Meboudja (M016) et dans la nappe superficielle (MP15) en fonction des précipitations	64
Fig. 32. Evolution des paramètres physico-chimiques dans les puits Mp14 (ou Mp2) et Mp15 (ou Mp1), situés à proximité de l'oued Meboudja M16 (ou M1) en 1999.....	65
Fig. 33. Evolution des paramètres physico-chimiques dans les puits Mp14 et Mp15, situés à proximité de l'oued Meboudja M16 en 2006.....	66

	67
Fig. 34. Carte piézométrique de la nappe superficielle simulée par le modèle	68
Fig. 35. Carte piézométrique de la couche semi-perméable simulée par le modèle	69
Fig. 36. Carte piézométrique de la nappe des graviers simulée par le modèle.....	69
Fig. 37. Carte des perméabilités simulées de la nappe superficielle par le modèle.....	70
	71
	76
	78
	86
	86
	87
	87

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

Partie I : Description de l'état actuel du site et de son environnement

Chapitre I : Cadre physique	3
I.1. Contexte géographique et topographie.....	3
I.2. Géologie.....	5
I.2.1- Le Paléozoïque.....	5
I.2.2- Le Mésozoïque.....	6
I.2.3- Le Cénozoïque.....	7
I.2.4- le Quaternaire.....	7
I.3 – Hydrologie.....	11
I.4 – Hydrogéologie.....	11
I.4.1- La nappe des sables fins superficiels (ou nappe superficielle).....	12
I.4.2- La nappe des graviers (ou nappe profonde)	12
I.5. La Piézométrie.....	15
I.5.1.Evolution spatiale et temporelle du niveau piézométrique.....	16

I.5.2.Cadre socio-économique.....	19
II.Conclusion.....	20
Chapitre II : Hydroclimatologie	21
I.1 Introduction.....	21
I.2. Analyse des données climatiques.....	23
I.2.1.Les précipitations.....	23
I.2.2. Les températures.....	24
I.2.3 L'humidité.....	27
I.2.4 Le Vent.....	27
II. Calcul du bilan hydrique.....	28
II.1. L'évapotranspiration.....	28
II.1.1. Evapotranspiration potentielle (ETP).....	28
II.1.2. Evapotranspiration réelle (ETR).....	32
III. Conclusion.....	33

**Partie II : Impact de la structure & des processus anthropiques sur
l'évolution physico-chimique des eaux**

**Chapitre I : Interaction nappe - oued : impact sur l'évolution physico-
chimique des de nappe superficielle**

	34
I.1 Introduction.....	34
II.1. Mode d'échantillonnage et protocole d'acquisition des données.....	34
II.2. Caractéristiques des eaux naturelles.....	34
• Rappelle de quelques notions de chimie.....	

II.2.1. Paramètres étudiés et les méthodes d'analyses.....	37
II.2.2. Les paramètres chimiques.....	38
II.2.3. Volumétrie ou titrimétrie.....	38
II.2.3.1 Dureté totale ou titre hydrotimétrique (TH).....	38
II.2.3.2 Dosage du Calcium : Ca^{+2} (mg/l).....	38
II.2.3.3 Dosage du magnésium : Mg^{2+} (mg/l).....	38
II.2.3.4 TA et le TAC (Titre alcalimétrique et titre alcalimétrique complet).....	39
II.2.3.5 Les chlorures : Cl^- mg/l.....	39
II.2.4. Paramètres de contrôle.....	40
a) Le pH (potentiel hydrogène).....	40
• Rappels.....	40
Le pH des eaux naturelles.....	40
b) Le E_H (potentiel d'oxydo- réduction).....	41
c) La conductivité (CE).....	41
d) Les matières en suspension – MES.....	42
1. Définition et impact.....	42
2. Méthodes de mesures.....	43
e) L'oxydo-réduction.....	43
II.2.5. La spectrométrie d'absorption atomique.....	44
II.2.5.1 Nom de la méthode.....	44
II.2.5.2 Domaine spécifique d'applications.....	45
II.2.5.3 Caractéristiques de la méthode.....	45
II.2.5.4-Description d'une méthode d'analyse spectrométrique.....	45
II.2.5.5 Préparation de l'échantillon.....	45

II.2.5.5.1- Analyse de solution.....	45
II.2.5.5.2- Etalonnage.....	45
II.2.5.5.3 - Dépouillement des résultats.....	45
II.2.5.5.4- Appareillage.....	45
II.2.5.5.5-Principe de fonctionnement.....	46
II.2.5.5.6- Mesures.....	47
II.2.5.5.7- Expressions de la loi.....	48
II.2.5.5.8- Sources.....	50
III. Résultats et interprétations.....	53
III.1. Variations des éléments majeurs.....	53
a) Diagramme des bicarbonates.....	54
b) Diagramme des chlorures.....	54
c) Diagramme de magnésium.....	54
d) Diagramme de Calcium.....	54
III.2. Variations de la Température.....	55
III.3 Métaux lourds.....	58
III.3.1. Généralités.....	58
III.3.2. Sources d'émission.....	58
III.3.3. Les rejets de métaux lourds dans l'eau.....	58
III.3.3.1 Rejets industriels.....	60
III.3.3.2. Toxicité des métaux lourds.....	62
VI. Evolution temporelle.....	63
VI.1. Evolution du Fer (T).....	63
VI.2. Evolution du Zinc.....	65

VI.3.Evolution du Manganèse.....	65
VI.4.Evolution du Chrome.....	66
VI.5.Evolution du Plomb.....	67
VI.6.Evolution du Cuivre.....	68
VI.7.Evolution du Nickel.....	69
V. Caractérisation hydrogéologique.....	70
IV. Étude des teneurs en éléments toxiques.....	71
• Evolution temporelle.....	71
Chapitre II : Mise en évidence de la relation oued/nappe à partir de la modélisation	80
I-1. Introduction.....	80
I-2. Cadre hydrogéologique du domaine étudié.....	80
I-3. Modélisation des écoulements souterrains.....	81
I.3.1. Bases théoriques.....	81
a. Processus d'écoulement.....	81
b. Equations de base.....	81
b.1. Equations de l'hydrodynamique souterraine.....	
b.1. Equations de l'hydrodynamique souterraine.....	81
b.2. Vitesse d'écoulement.....	83
I.3.2. Simulation des écoulements dans la plaine de l'oued Meboudja.....	84
a. Données d'entrée.....	84
b. Phase de calage.....	85
c. Ajustement des valeurs de perméabilité et du coefficient d'emmagasinement.....	85
d. Mise en évidence des interactions oued Meboudja-nappe alluviale.....	88

II-4 Conclusion.....	88
• Conclusion générale et recommandations	89
• Références bibliographiques	

Introduction générale
Introduction générale

Introduction générale

L'eau est essentielle à la vie et au bien-être. C'est pourquoi, elle a besoin d'être protégée, traitée et économisée. Ses ressources sont précieuses et rares, sa qualité délicate et son cycle naturel très long.

Aujourd'hui, la qualité de l'eau et de l'environnement nous concerne tous. C'est la raison pour laquelle, il est nécessaire de la traiter et de l'économiser. D'autant plus que le troisième millénaire sera purté ou pollutions. Gageons qu'il sera respectueux de l'eau et de l'environnement pour 6 milliards de notre humanité, aussi et surtout pour les générations futures.

Depuis plusieurs années, de nombreux pays sont confrontés à de graves problèmes d'eau, en Algérie en particulier, dans les grandes villes industrielles telle que la ville de Annaba, qui, par sa géomorphologie, sa situation propice est devenue un pôle très important en industrie et agriculture en plus de l'extension en urbanisme où l'eau devient de plus en plus rare, les réseaux pluviaux et les Queds sont devenus des décharges pour des rejets liquides non contrôlés.

Aussi, bien souvent l'eau est polluée une première fois, avant d'être consommée par l'homme (pollution des ressources), et elle est polluée une seconde fois, avant son rejet en rivière ou en mer (eaux usées).

Trop peu, trop loin, trop sale

Dans ce contexte nous nous sommes engagé par le présent travail afin de donner un aperçu détaillé sur la contamination des eaux de surface, de la nappe superficielle par les métaux lourds, qui sont présents en quantité plus ou moins importante.

Les travaux sur le terrain ont débutés en [Juin 2006](#) et achevés [Mai 2007](#) ont l'objectif de suivre des travaux antécédents dans la région. Ils ont été précédés par une visite de reconnaissance d'une journée sur le terrain pour localiser les sites devant faire l'objet d'étude.

Ce mémoire présente la démarche utilisée, les étapes et les résultats de ce travail. Il s'agit donc d'un travail comportant quatre chapitres distincts mais complémentaires.

Le premier chapitre, consacré à **la géologie** de la région d'étude, décrit d'une manière succincte et cohérente les cadres: géographique, géomorphologique, géologique et tectonique de la région. Cette partie, bibliographique, constitue le fil conducteur nécessaire pour mener à bien les autres parties qui suivent.

Le second chapitre est réservée à ***l'Hydroclimatologie***, Elle explicite l'approche utilisée pour la détermination des caractéristiques hydroclimatologiques et d'évaluer les différents termes du bilan hydrique, renseignements indispensables et utiles à l'étude hydrologique.

Le troisième chapitre concerne ***l'hydrochimie***, Elle constitue une partie clé de ce travail dans la mesure où elle joue le rôle moteur. En effet, c'est sur la base des résultats des analyses obtenus par spectroscopie d'absorption atomique pour le dosage des métaux lourds, que les eaux superficielles d'Oued Meboudja sont polluées par la totalité des éléments des métaux lourds.

Nous essayerons, dans le quatrième chapitre, par un modèle mathématique ***Modflow*** de distinguer les zones de différentes 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.

Des conclusions générales et recommandations terminent ce document.

PARTIE I
Description de l'état actuel
du site et
de son environnement

Chapitre I:
Chapitre I:
Cadre physique.
Cadre physique.

I.1. Contexte géographique et topographie

La zone d'étude qui constitue la basse plaine de la Seybouse se situe au nord-est de l'Algérie et appartient au système aquifère Annaba - Bouteldja (fig.1). Ses limites naturelles sont :

- au Nord, la mer méditerranée ;
- à l'Ouest, du Sud au Nord, le massif de Belelieta (287 m), de Boukhadra (152 m) et du massif de l'Edough (1008m) ;
- au Sud les Monts de Cheffia et d'El-Kala (1411m) ;
- enfin à l'Est, le prolongement oriental du système aquifère Annaba - Bouteldja.

La géomorphologie du site est caractérisée par une topographie plane sur l'ensemble de la plaine, marquée par des inclinaisons importantes aux bordures de la plaine, à la partie Ouest et Sud, due à l'anticlinal du massif métamorphique de l'Edough, Belelieta et celle de la chaîne Numidienne.

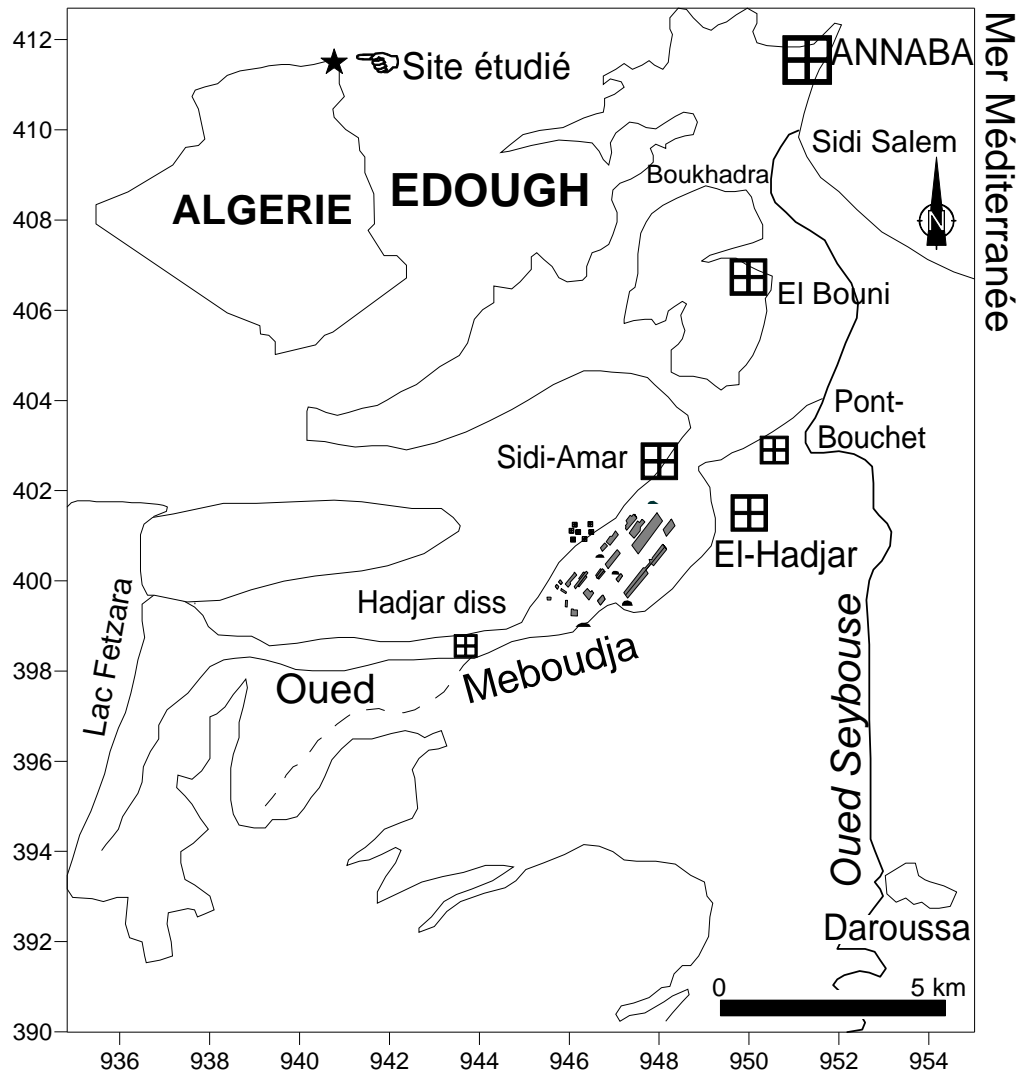


Figure 1- Localisation de la zone d'étude

I.2. Géologie

Les études réalisées dans la région (Joleaud, 1936 ; Hilly, 1962 ; Vila, 1980 ; Lahondère, 1987 ; Gleizes, 1988 ; Hammor, 1992) montrent l'existence de deux types de terrains ; métamorphique et sédimentaire (figure 2). L'échelle stratigraphique de ces terrains se répartit du Paléozoïque au Quaternaire :

I.2.1- Le Paléozoïque :

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

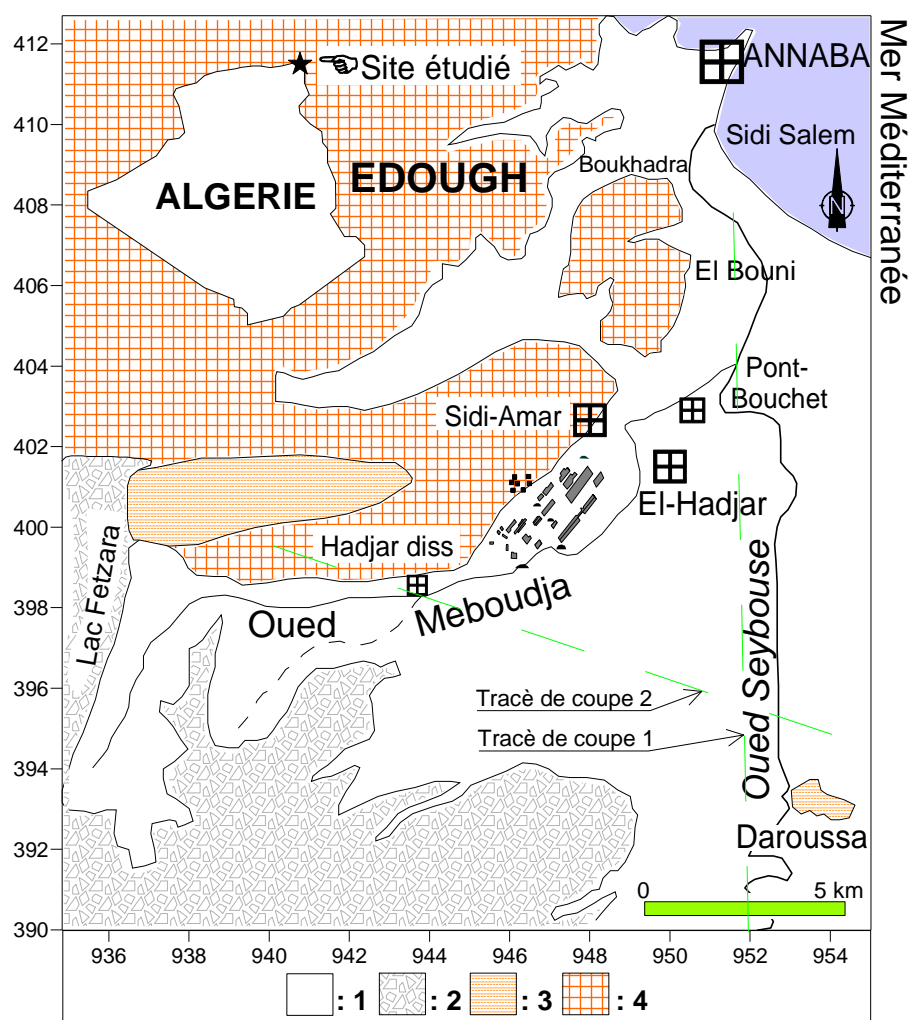


Figure.2 – Carte géologique de la région d'étude.

Légende : 1 : Quaternaire indifférencié (argile, sable, limons ...) ; 2 : Alluvions de hautes terrasses ; 3 : Grès et argiles du Numidien ; 4 : Formations métamorphiques (micaschistes, cipolins et gneiss).

- La série inférieure, représentée par des gneiss riches en biotite et sillimanite d'une épaisseur moyenne de 70m, cette formation constitue 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 nue. Cette série contient des marbres qui s'intercalent dans les formations des micaschistes sous forme de skarns ;
- Série supérieure, constituée par un ensemble de gneiss ocellés, schistes satinés, micaschistes, grenats et amphibolites.

Les accidents tectoniques connus jusqu'à ce jour dans le massif de l'Edough permettent de déceler deux familles d'accidents :

- une première famille, dont l'orientation est NW-SE. La direction la plus fréquente de ces accidents varie de N 120° E à N 150°E.
- la seconde famille, qui semble être conjuguée à la première, est dirigée NE-SW.

I.2.2- Le Mésozoïque :

Le Mésozoïque affleure également en dehors de la région d'étude, dans la partie sud, au niveau de la région de Guelma et de Bouchegouf, située à une quarantaine de km au sud du secteur étudié. Il est constitué par :

- Le Trias, formé par une association de dolomies, calcaires dolomitiques et de gypse ;
- Le Jurassique, représenté 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 dans 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 10cm. Quelques forages de reconnaissance répartis dans la cuvette de la Cheffia et réalisés dans le cadre d'une étude géologique au droit de l'emplacement du barrage et de la galerie d'amenée ont recoupé ces faciès.

I.2.3- 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 aquitainien (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 ceinturent les formations alluvionnaires et surtout dunaires.
- **le Mio-Pliocène** représenté par les faciès suivants :
 - ✓ Faciès fluviatil ; bien développé dans la plaine d'Annaba, il est formé essentiellement de galet, de sable et d'argile le long des Oueds ;
 - ✓ Faciès marin (Plaisancien) ; caractérisé par des marnes bleues avec des intercalations calcaires ;
 - ✓ Faciès continental : est lié aux dépôts des fosses d'effondrement. 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. Ces dépôts forment une série continentale argilo-sableuse avec des lits de conglomérats constituant le réservoir de la nappe captive des plaines de Annaba-Bouteldja.

I.2.4- le Quaternaire :

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

- Quaternaire ancien (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.

- Quaternaire récent : correspond à la basse et à 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.

- Quaternaire actuel :

✓ Les alluvions 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.

La Plaine de Annaba-Bouteldja, aux reliefs très peu marqués comporte des limites naturelles (figure 2).i) avec la Mer Méditerranéenne, au Nord, ii) les reliefs du Massif de l'Edough, à l'Ouest, aux formations cristallophylliennes paléozoïques, iii) des Monts de la Cheffia et d'El-Kala, au Sud, plus orientaux dont les unités numidiennes, allochtones, d'argile et de grès recouvrent le socle. Dans la Plaine, ces ensembles sont masqués par des dépôts récents, 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 (figure 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.

Le remplissage très hétérogène des deux fosses (Joleaud, 1936 ; Gaud, 1976 ; Vila, 1980), avec des alternances d'argile, de sable et de graviers, est marqué par de brutales variations de faciès dans l'espace et dans le temps.

Schématiquement (figure 3), nous pouvons distinguer quatre faciès principaux avec, à la base, une couche de marnes miocènes de plus de 150m d'épaisseur surmontée par 60 à plus de 100m 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 70m). 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.

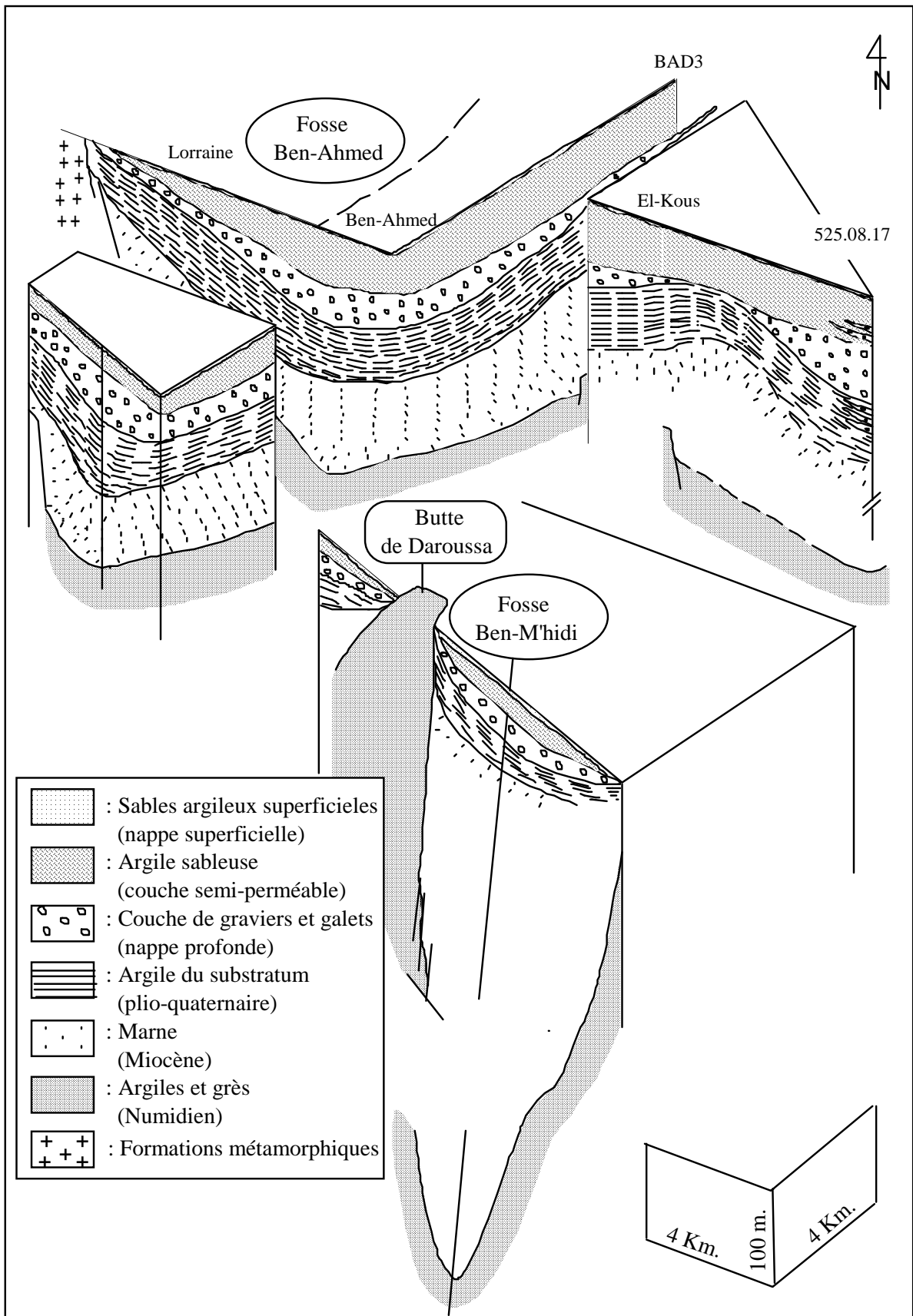


Figure.3 – Bloc diagramme au travers de la plaine de Annaba (Hani, 2003).

I.3 - Hydrologie

Le bassin de l'oued Seybouse couvre une superficie de l'ordre de 6471 km². Il prend naissance dans les hautes plaines de Haracta et de Sallaoua au niveau de Aïn Abid et Sedrata et se jette dans la mer Méditerranée au nord, après un parcours de 160km.

La zone d'étude est située à l'aval de l'oued Seybouse, entre le village de Dréan et la mer Méditerranée, elle s'étend sur une superficie de 200 km², elle comprend deux oueds :

- la basse vallée de l'oued Seybouse ;
- l'oued Meboudja, le dernier affluent de l'oued Seybouse, qui constitue le collecteur des eaux du lac Fetzara et draine une superficie de 203 km².

D'une manière générale, le débit de l'oued Seybouse varie entre 0 et 100m³.s⁻¹, mais, peut atteindre des valeurs de l'ordre de 630m³.s⁻¹ pendant les périodes de fortes averses.

Une estimation du débit de l'oued Meboudja par jaugeage au flotteur, pendant la période de février à décembre 1999 a donné des valeurs allant de 1 à 20 m³.s⁻¹.

I.4 - Hydrogéologie

Les formations du système aquifère sont constituées de sédiments mio-pliocènes et quaternaires des deux fosses décrites précédemment. Le remplissage de ces fosses s'est effectué de manière hétérogène, formant une alternance d'argile sableuse, de sable, de graviers et de travertins, où l'on distingue 6 réservoirs d'importance inégale (Khérici, 1993, Djabri, 1996, Debièche, 2002, Hani, 2003) :

■ **La nappe des formations superficielles.** Cette nappe est contenue dans des formations sablo-argileuses incluant des lentilles de sables. Des argiles grises compactes en constituent le substratum. Ces lentilles 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 18m.

■ **La nappe des graviers.** Elle couvre l'ensemble de la zone d'étude et présente de bonnes qualités hydrauliques.

■ **La nappe des alluvions de la haute terrasse.** Elle s'étend le long des massifs numidiens à l'Ouest et au Sud de la plaine de Annaba. Ces alluvions graveleuses et caillouteuses à matrice argileuse ont des possibilités aquifères très limitées.

■ **La nappe des cipolins.** Elle se situe dans les massifs de bordure du Belilieta et de Boukhadra (proche du massif de l'Edough). Elle est contenue dans des lentilles de cipolins, fissurés, existant au sein des gneiss et micaschistes du monoclinale métamorphique du Boukhadra. Ces calcaires sont en contact avec les alluvions de la plaine. Leur superficie est inférieure à 100ha.

■ **La nappe des travertins.** Elle est mal délimitée. Elle a été localisée dans le secteur compris entre Fardaous, la butte de Daroussa, Chbaïta et la ferme Hallalal Aissa.

■ **La nappe libre du cordon dunaire.** Elle est contenue dans les dunes le long de la Méditerranée, à l'Ouest de la Mafragh. Elle présente l'intérêt de protéger la nappe phréatique des venues d'eau salées.

L'hétérogénéité des dépôts a permis de définir un système aquifère constitué par une nappe superficielle qui s'étend sur l'ensemble de la zone d'étude, excepté sur sa bordure nord constituée par les sables du cordon dunaire, à l'Ouest de l'oued Mafragh. Sous cet ensemble les forages ont rencontré sous une couche argilo-sableuse semi-perméable des niveaux de graviers s'étendant sur toute la superficie du système. L'analyse de près de 500 coupes lithologiques de forage a permis d'identifier la structure profonde des principaux aquifères et de déterminer leur extension latérale et verticale. Nous décrivons à partir des coupes reportées sur la (figure 4) l'ensemble de ces horizons aquifères successivement de l'Ouest vers l'Est.

I.4.1- La nappe des sables fins superficiels (ou nappe superficielle) :

Cette nappe est contenue dans des formations sablo-argileuses incluant des lentilles de sables. Des argiles grises compactes en constituent le substratum. La répartition des lentilles sableuses est très irrégulière et discontinue (figure 4). Ces lentilles sont néanmoins 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 peut atteindre 18m (Figure. 4).

I.4.2- La nappe des graviers (ou nappe profonde) :

Les coupes de forage et les diagraphies montrent l'existence de plusieurs phases sédimentaires 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 (figure. 4 et 5).

L'épaisseur des graviers et galets est très variable, elle passe en effet de quelques mètres en bordure ouest du système, à près de 25m selon l'axe de la fosse de Ben-Ahmed, orientée Sud-Nord, puis elle diminue à moins de 10m sur l'élévation de Daroussa (figure. 5).

Elle croît de nouveau à 80 voir 90m selon l'axe de la fosse de Ben-M'Hidi d'orientation sud-ouest – nord-est. Entre la butte de Boukhadra et El-Khous, un autre niveau à éléments grossiers, de près de 8m d'épaisseur, a été localisé à une profondeur de 35 à 40m. En bordure des massifs numidiens de Bouteldja, l'épaisseur des graviers atteint près de 20m (Djabri *et al.*, 2000).

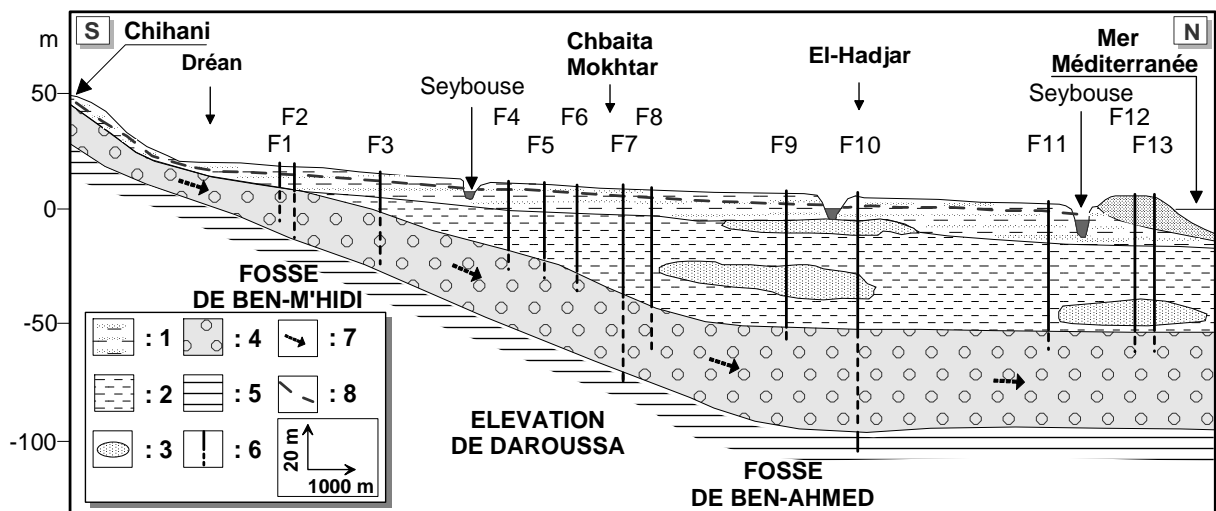


Figure. 4 – Coupes au travers de la plaine de Annaba.

Légende : 1 : Argile limoneuse avec passées sableuses (nappe superficielle) ; 2: Argile détritique Plio-quadernaire ; 3 : Lentilles de sables ; 4 : Galets et graviers (nappe profonde) ; 5 : Argile de Numidie ou du Paléocène; 6 : Forages ; 7 : Direction de l'écoulement ; 8 : Surface piézométrique de la nappe des graviers.

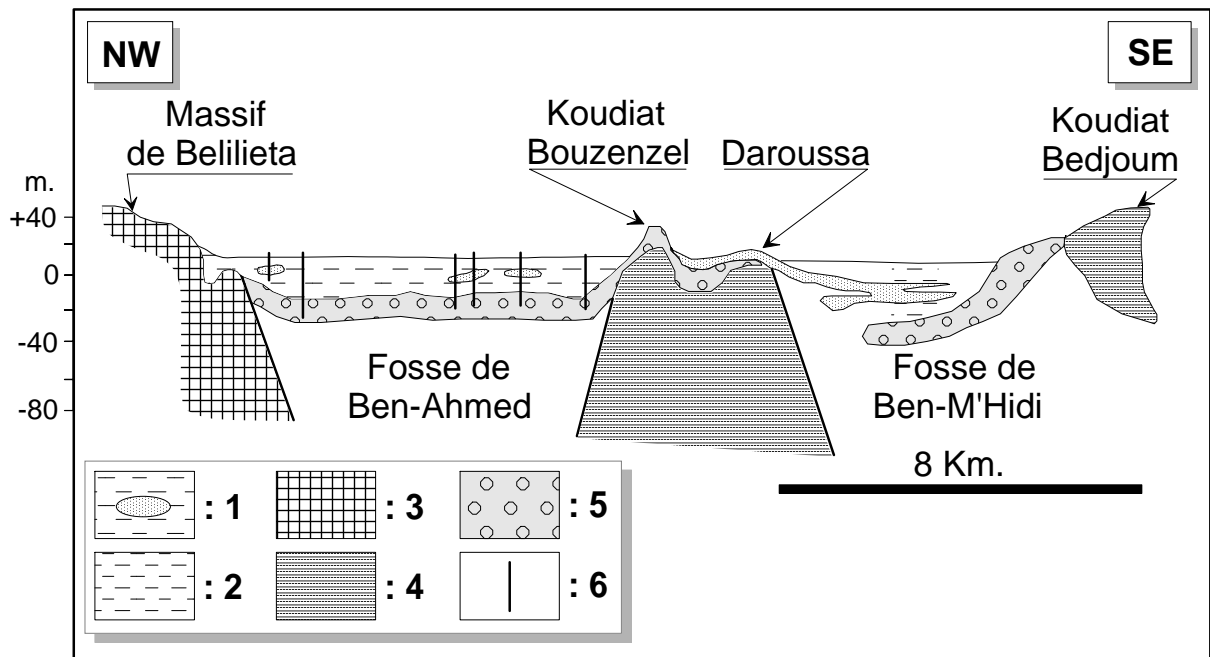


Figure 5 – Coupes au travers de la plaine de Annaba.

Légende : 1 : Argile limoneuse avec passées sableuses surmontées par une couche de sable (nappe superficielle) ; 2: Argile détritique Plio-quaternaire ; 3 : Formations métamorphiques ; 4 : Argile de Numidie ou du Paléocène ; 5 : Galets et graviers (nappe profonde) ; 6 : Forages.

I.5. La Piézométrie

Vu le nombre important des points d'eau (généralement des puits implantés dans la région d'étude, les mesures des niveaux piézométriques ont été réalisées sur 09 puits (figure.6).

Nous avons constaté sur le terrain, que les puits réalisés sont pour la plupart des ouvrages récents forés à la main ou à la machine, le diamètre des puits varie entre 2 et 5m, ces derniers non couverts. Ils servent en grande partie à l'irrigation (Mp 10 : utilisé pour l'alimentation des habitants du secteur surtout pendant l'été.).

La majorité des puits sont imparfaits, donc ne captent pas la totalité de l'aquifère.

Leur profondeur varie entre 6 et 10m.

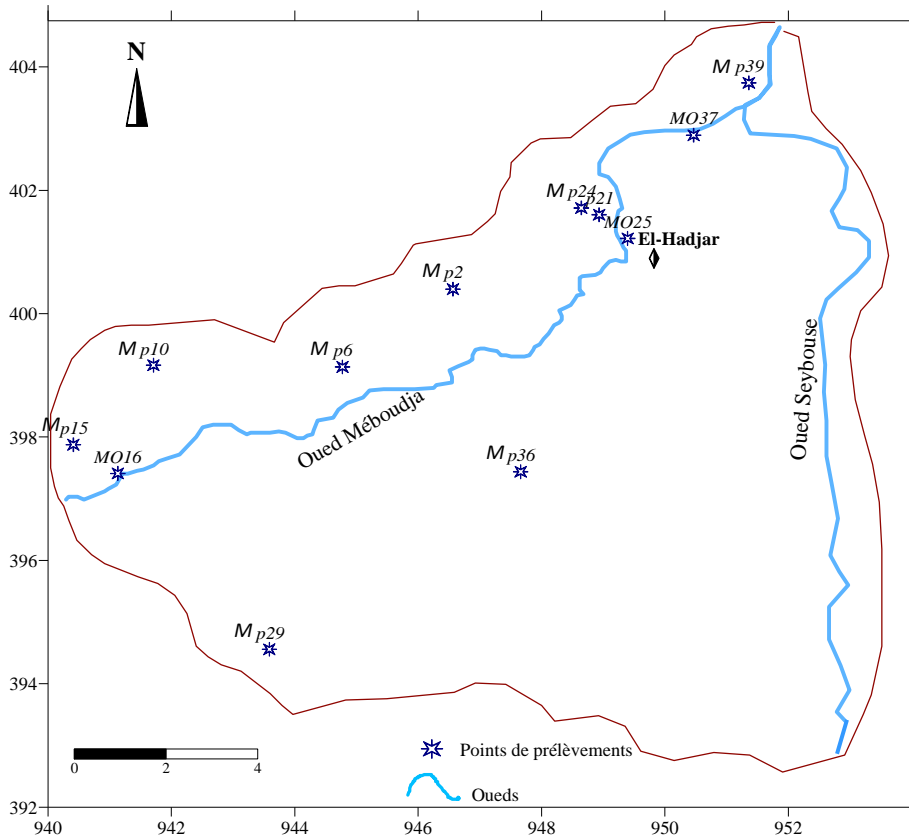


Figure 6 – Carte d'inventaire des points d'eau de la zone d'étude.

I.5.1. Évolution spatiale et temporelle du niveau piézométrique

Les mesures piézométriques réalisées au mois d'Aout 2006 (basses eaux) et au mois d'Avril 2007 (hautes eaux) ont permis d'élaborer les évolutions suivantes (figure. 7) :

Après la période de basses eaux ; on constate que les variations du niveau piézométrique tend dans l'ensemble vers une augmentation progressive à partir du mois d'octobre, où la nappe commence à se recharger à partir des premières pluies, du mois d'octobre jusqu'au mois de février dans les puits Mp2, Mp29 et Mp36 le niveau se stabilise par l'effet de la recharge. Pour le puits Mp6, la diminution brusque est due à l'effet du pompage (Hamzaoui, 2007).

La variation du niveau piézométrique dans le puits Mp10 ne suit pas l'évolution saisonnière de la pluie à cause vraisemblablement de son utilisation par les habitants du secteur.

Enfin l'augmentation remarquée dans les puits Mp6, Mp21, Mp24, Mp29, Mp36, et Mp15 au mois d'Avril est due probablement à l'alimentation de la nappe à partir de l'oued.

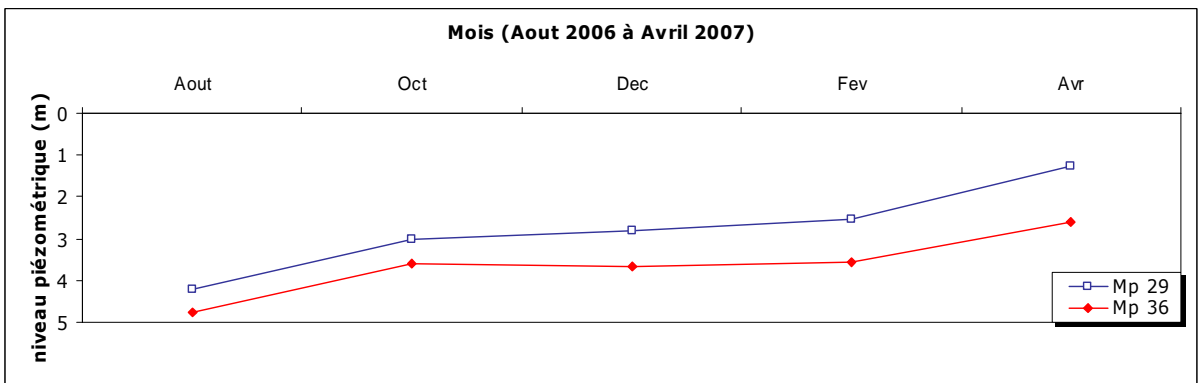
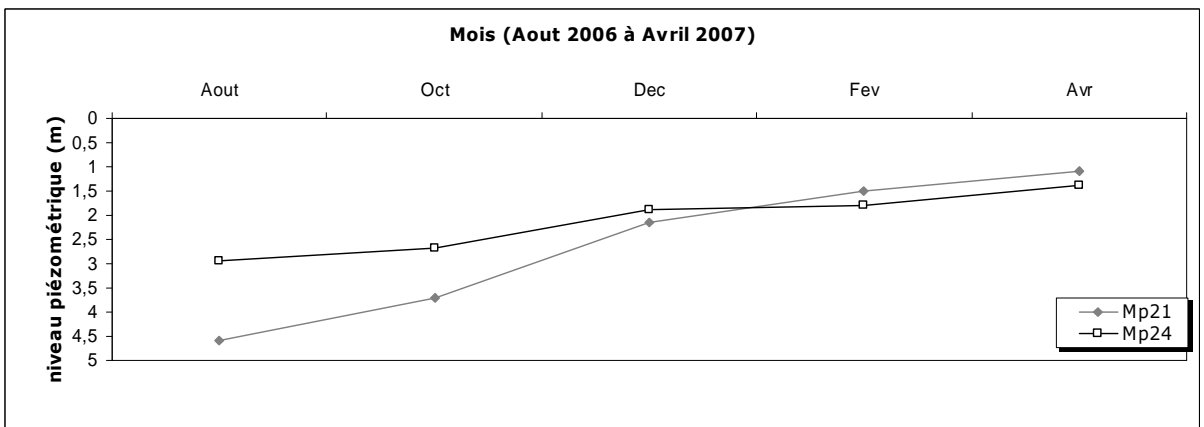
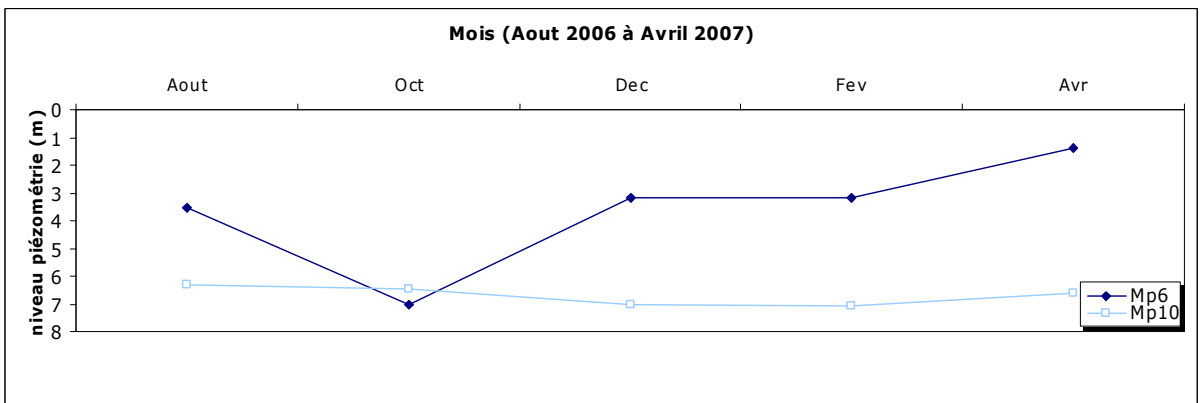
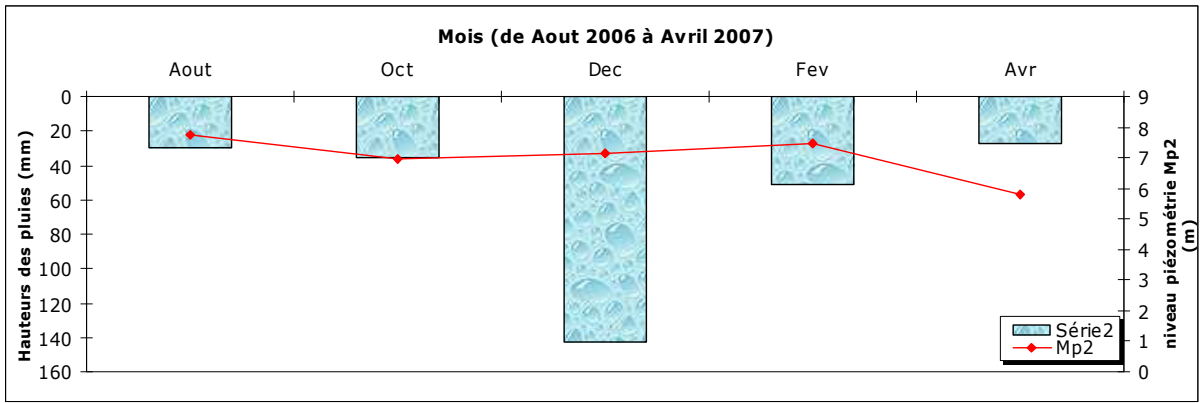


Figure. 7 – Évolution spatiale et temporelle du niveau piézométrique

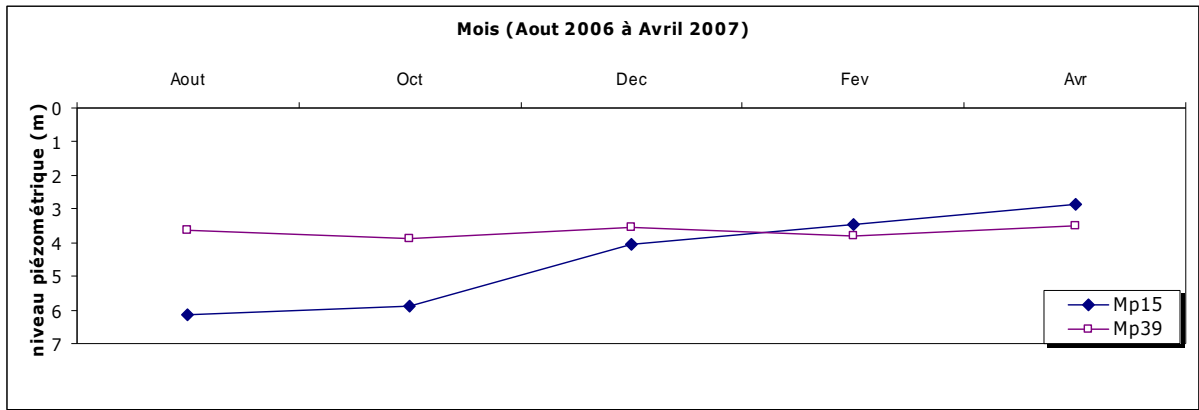


Figure 7 – Évolution spatiale et temporelle du niveau piézométrique (suite).



Figure 8–Apparition du niveau de la nappe superficielle dans un puits au secteur d’el Karma.

I.5.2. Cadre socio-économique

La qualité des sols dépend pour l'essentiel de la roche mère et de la topographie, facteurs déterminants des modalités de circulation des eaux. Ces caractéristiques sont favorables à une agriculture polyculturelle. Les cultures qui y sont pratiquées sont :

- Les cultures céréalières (blé dur, blé tendre et orge) : la région présente de grandes étendues favorables à ce type de pratiques culturales.
- Les cultures industrielles : ce sont essentiellement le tabac et la tomate industrielle.
- Les cultures maraîchères et les légumes secs (pomme de terre, pastèque, melon, pois chiches et feuiol) : ils sont moins répandus dans la région.
- L'arboriculture : elle est représentée essentiellement par les agrumes, les noyaux et les pépins, les oliviers et la viticulture.

Les terrains nus : ils sont situés surtout dans la plaine ouest d'El-Hadjar.

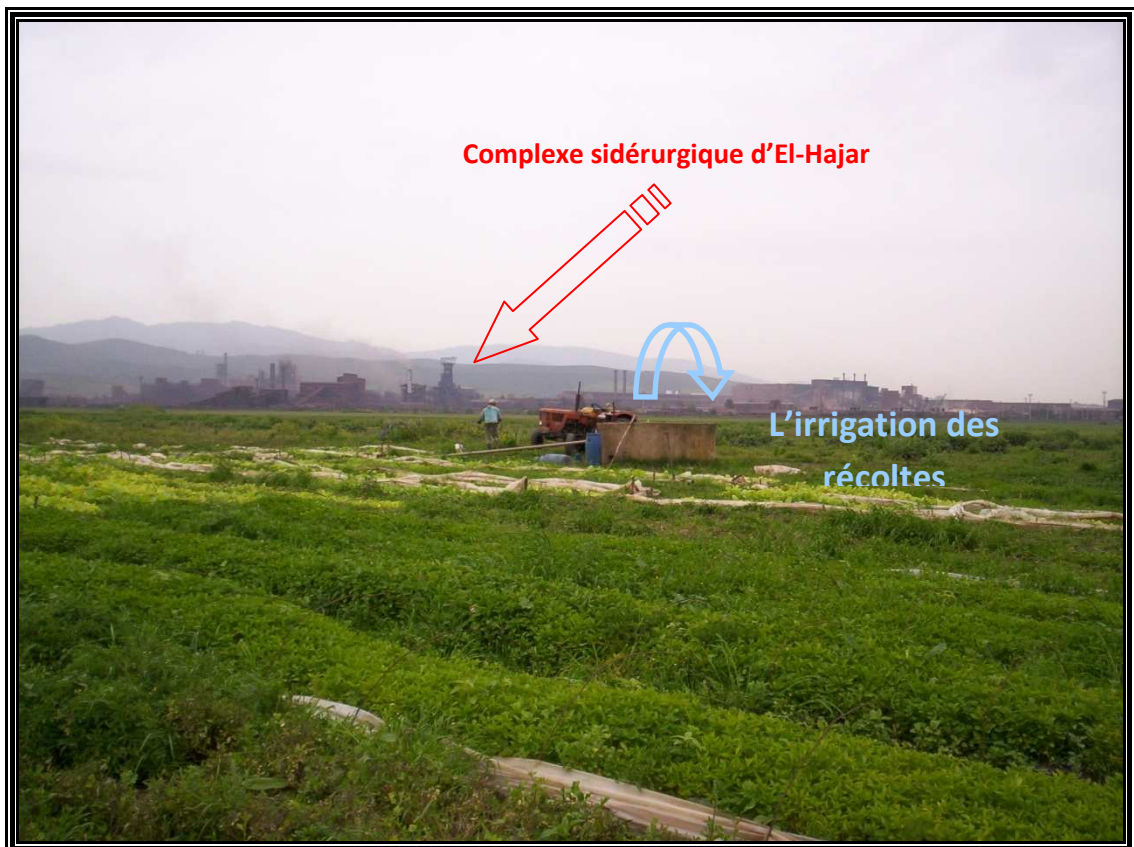


Figure 9 – Un puits qui sert à l'irrigation des terres avoisinantes du complexe sidérurgique.

II. Conclusion

L'étude hydrogéologique de la région de Annaba a mis en évidence les importants réservoirs d'eau souterraine contenue surtout dans les formations alluvionnaires.

Les coupes schématiques au travers la plaine de Annaba nous à permet de caractériser trois nappes:

- Un aquifère de subsurface de la série sableuse ou argilo-sableuse.
- Un aquifère profond constitué de graviers ou galets.
- Un aquifère semi perméable qui sépare les deux premiers.

Les relevés des côtes piézométriques durant la période des hautes eaux montrent l'augmentation du niveau de la nappe par la recharge, elle draine l'oued dans la partie aval de la Meboudja et le contraire dans la partie amont ou elle alimente l'oued.

Chapitre II:
Chapitre II:
Hydroclimatologie.
Hydroclimatologie.

CHAPITRE II : HYDROCLIMATOLOGIE

I.1 Introduction

L'étude hydroclimatologique est nécessaire pour bien comprendre les mécanismes d'alimentation et de circulation des eaux superficielles, et souterraines. Par ailleurs la détermination des divers éléments du bilan hydrique, nous permettra d'approcher au mieux à l'évolution des niveaux de la nappe, et des écoulements souterrains.

Cette étude est basée sur l'analyse et l'interprétation des données climatiques enregistrées dans 3 stations réparties dans notre région d'étude, la station des Salines reste la seule où l'on possède des observations les plus longues. Pour l'interprétation des données pluviométriques, nous avons utilisé des séries de précipitations sur une période de 34 ans (période allant de 1972 à 2006).

Dans le tableau suivant, on a rassemblé les données relatives aux stations d'El Karma, de Pont Bouchet et enfin des Salines.

Tableau 1 : Les coordonnées Lambert des stations étudiées

Station	Code	X (km)	Y (km)	Alt. (m)	M.D.P (mm)
Les Salines	60360	955.80	403.8	3	1972-2006
Pont Bouchet		950.25	402.80	6	1977-2005
El Karma	140609	944.60	395.50	14	1977-2006

M.D.P (mm) : moyenne d'observations des précipitations à diverses périodes.

La figure 10 montre la répartition géographique des stations de l'amont vers l'aval de la plaine de Annaba.

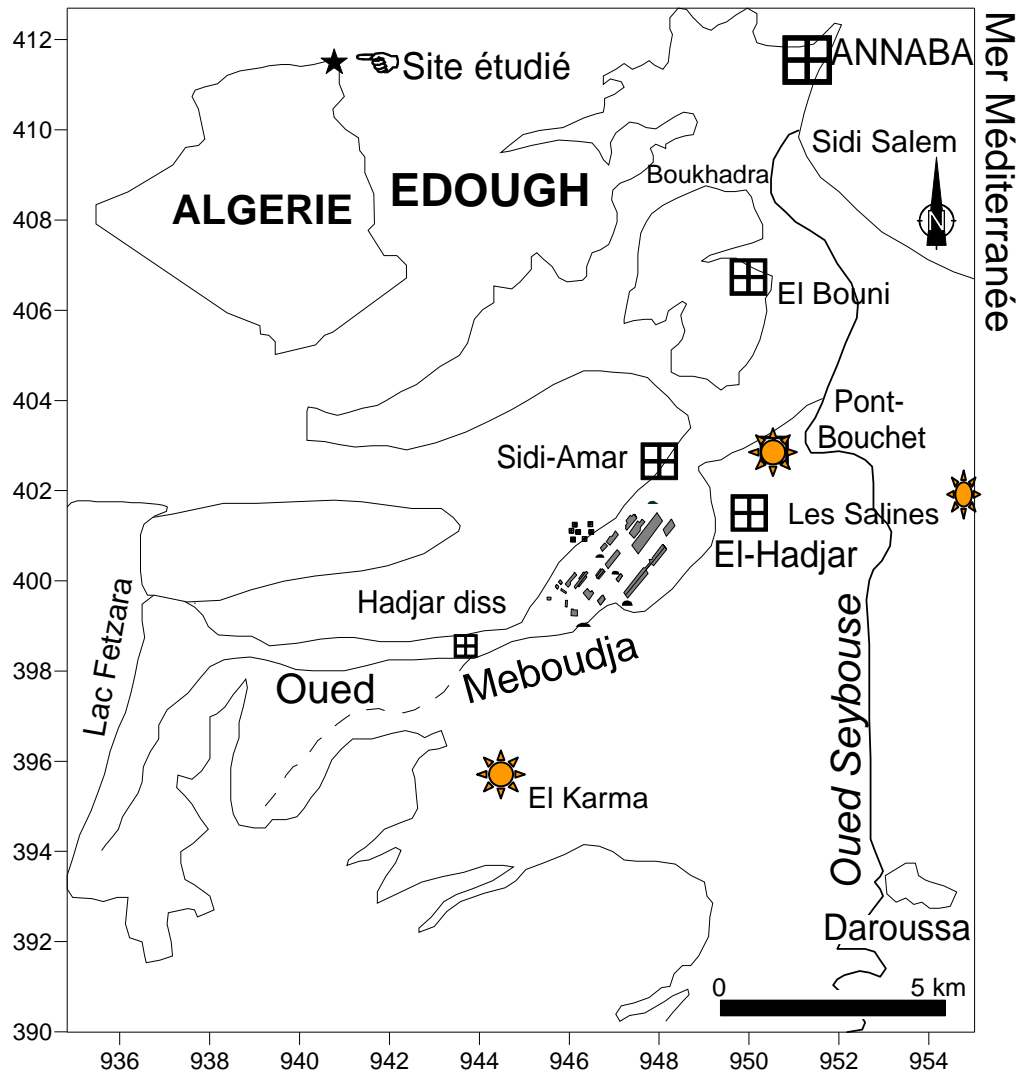


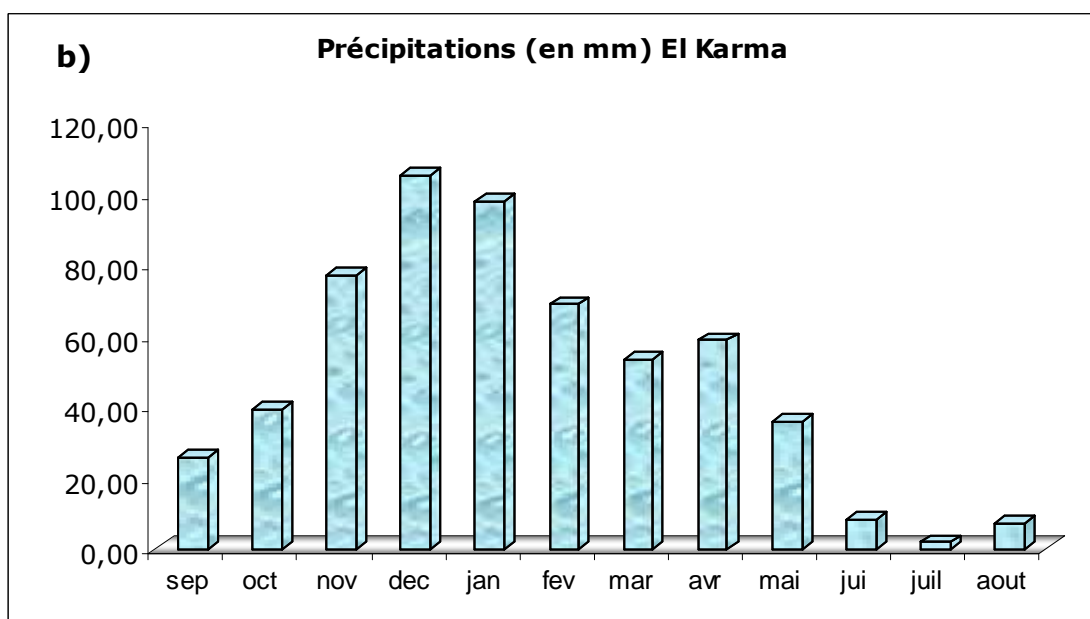
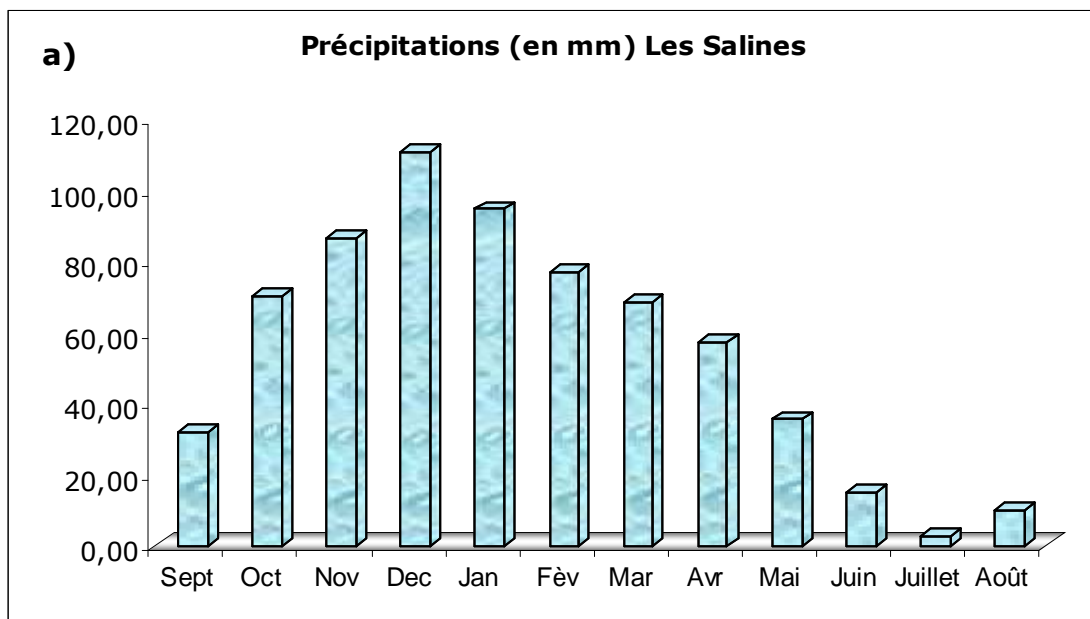
Figure 10 – Localisation des stations de la zone à l'étude.

1.2. Analyse des données climatiques

1.2.1. Les précipitations

La pluie est un facteur très important conditionnant l'écoulement saisonnier et par conséquent, le régime des cours d'eaux ainsi que celui des nappes.

Généralement la région de Annaba reçoit des précipitations plus ou moins importantes en raison de sa proximité vis à vis de la mer.



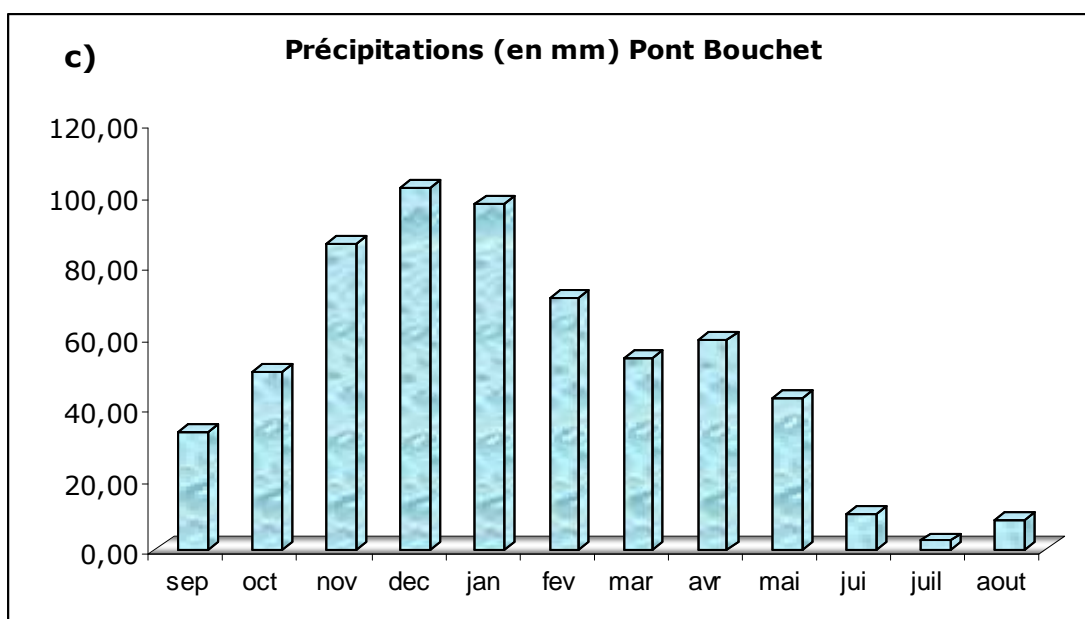


Figure 11 (a, b, c) – Histogrammes des précipitations moyennes mensuelles (mm)

Une période pluvieuse constituée par les mois les plus arrosés, se situe entre Octobre et Avril ou on trouve le mois de Décembre qui est le mois le plus pluvieux au niveau des trois stations avec un maximum de 108.07 à la station des Salines.

Une période correspondant à la saison sèche s'étalant entre Mai et Septembre ; Tandis que le mois de juillet est le mois le moins pluvieux avec un minimum de 2.34 mm

Enregistré à la station de Pont Bouchet.

Parmi les 34 cycles hydrologiques, on enregistre dans 1 cycle des quantités dépassant 950mm à l'échelle annuelle dont l'année la plus pluvieuse correspond à celle de (2004 – 2005) avec (987.7mm) cependant l'année la plus sèche correspond à celle de (1973–1974) avec 414mm .

I.2.2. Les températures

La température est un facteur très important régissant le phénomène d'évapotranspiration et le déficit d'écoulement, et donc influe sur le bilan hydrique.

Tableau 2 – Variation des températures moyennes mensuelles en (°C) à la
Station des salines (1972 —→2007).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Moyenne(C°)	29,05	27,5	22,55	17,15	17,17	17,5	17,93	22,15	25,7	28,65	31,55	31,80
Min (C°)	17,05	15,3	11,1	7,85	6,6	7,75	8,1	11,35	13,65	16,75	19	19,25
Max (C°)	23,03	19,63	15,37	12,93	11,6	11,75	13,11	15,04	18,18	21,77	25	25,45

Le tableau 2, montre que les températures moyennes mensuelles interannuelles oscillent entre une valeur maximale enregistrée au mois d’Août (25,45°C) et une autre minimale au mois de Janvier (6,6°C). L’amplitude thermique exprimant la différence entre le mois le plus froid et le plus chaud est égale à 18,85°C.

La zone d’étude est caractérisée par un climat méditerranéen; doux et humide en hiver et chaud et sec en été. Comme le montre les diagrammes ombrothermiques (figure 12a-b), ce type de climat se caractérise par :

- Une température moyenne annuelle variant entre 15,4 et 17,6°C;
- Des précipitations totales annuelles se situant entre 471 et 1311 mm aux Salines et 325 et 920 mm à la station d’El-Kerma.

Les stations météorologiques les plus proches du site à l’étude sont situées à El-Kerma et aux Salines, respectivement à environ 5 et 15 km de l’usine Arcelor- Mittal (2006).

Au niveau des températures, on observe :

- Le mois le plus froid est janvier, avec une température moyenne de 11,6°C et le mois le plus chaud est août avec une température moyenne de 25,45°C.

Au niveau des précipitations, on observe :

- Une moyenne annuelle des précipitations totales de 569 mm (El Kerma) et 660 mm (Les Salines). Les plus fortes précipitations ont lieu aux mois de décembre et janvier où des valeurs moyennes de 105,4 et 94,61 mm ont été respectivement enregistrées aux Salines. A la station d’El

Kerma, les précipitations maximales sont observées aux mois de décembre et janvier sont de l'ordre de 105 et 97,77 mm.

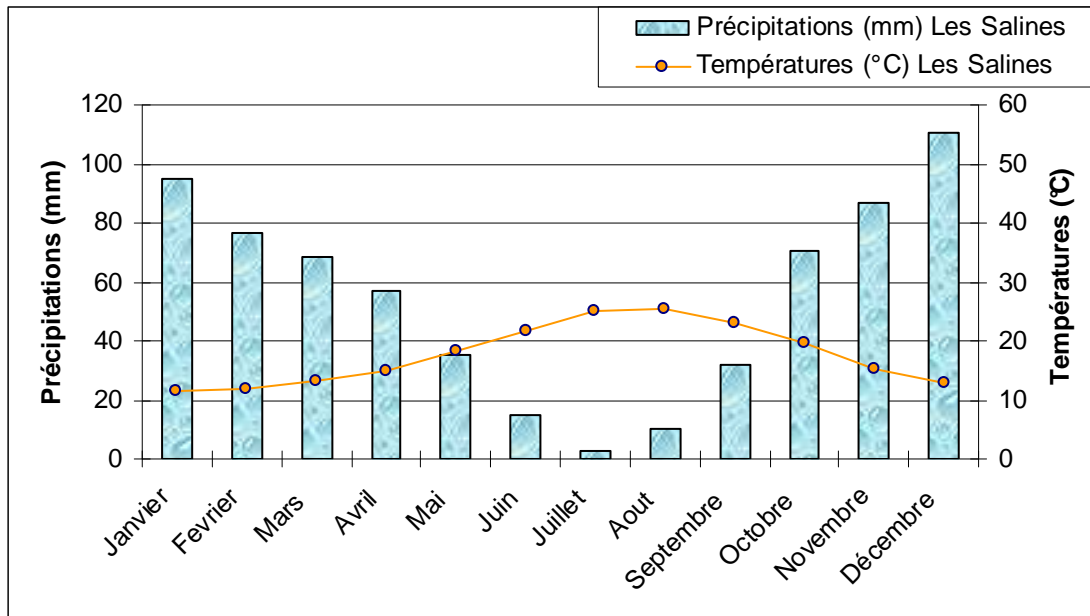


Figure 12 a) – Diagramme ombrothermique des Salines (Données Office de la Météo Nationale 1972-2007).

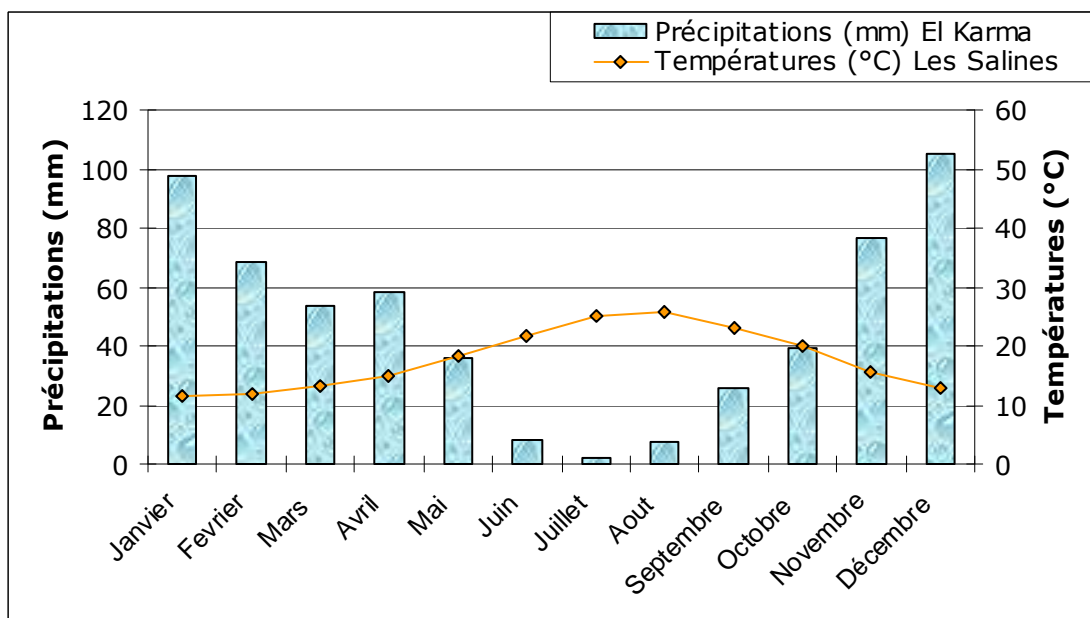


Figure 12 b) – Diagramme ombrothermique : Précipitations El Kerma – Températures les Salines (Données Office de la Météo Nationale 1977-2006).

Par manque d'observations, les autres paramètres du climat (l'humidité, le vent) sont appréciés à partir des observations à la station météorologique professionnelle d'Annaba-les salines :

I.2.3 L'humidité : (le rapport de vapeur à la tension maximale correspondant à la température mesurée au thermomètre sec).

L'humidité relative de l'air correspond au rapport de la tension de vapeur réelle observée à la tension de valeur saturante à la même température sur 31 cycles hydrologiques (1974–2005). Ce paramètre intervient comme coefficient de correction de l'évapotranspiration lorsqu'il est inférieur à 50 %. A la station des Salines (1974/2005), les moyennes mensuelles de l'humidité relative varient de 68.8 % en été (juillet) à 78 % en hiver (février). La moyenne annuelle étant de 75 % (tableau n°3).

Tableau 3 – Moyennes mensuelles de l'humidité relative à la station des Salines en %
(1974 → 2005)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Moy.	76.5	78	76.8	75.7	75.1	72.1	68.8	72.5	72.6	74.2	77.5	76

(Moy. : moyenne des valeurs enregistrées à 0h, 3h, 6h, 9h, 12h, 15h, 18h et 21h).

I.2.4 Le Vent :

Les vents ont un effet important sur les phénomènes d'évaporation, de précipitation et à un degré moindre sur les températures (D'après Alain Marre 1992).

A la station des Salines, les vents prédominants soufflent à une direction NW-SE et leur vitesse à l'échelle de l'année, (vitesse moyenne) est de 3.75 m/s (tableau n°4).

Tableau 4 – Moyenne mensuelle de la vitesse des vents en m/s à la station des Salines

(1985 → 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

Les vents dominants sont de direction générale vers le Nord-Ouest. Au total , se sont les vents venant de la mer , donc les vents humides qui sont dominants sur notre région , les reliefs orientés le plus souvent perpendiculairement à la direction des vents , jouent un rôle important dans la répartition des précipitations et des températures (D'après Alain Marre 1992) .

Les vents violents (vitesse supérieure à 130 km/h) surgissent, mais de façon très rare, aux mois d'Octobre, Janvier et Février. (*Source : ONM*).

II. Calcul du bilan hydrique

Le bilan hydrique exprime le processus que peut suivre une quantité d'eau qui arrive au sol par précipitations, neiges, ...etc., avant de retourner à l'atmosphère. Il est calculé par la méthode de THORNTHWAITE, cette dernière tient compte de la température, la pluie, l'ETP et la RFU prise égale à 100mm. Sa formule est la suivante :

$$P = ETR + I + R$$

II.1. L'évapotranspiration

L'évapotranspiration est l'ensemble des phénomènes d'évaporation (processus physique) et de transpiration (phénomène biologique).

On distingue ainsi deux types :

II.1.1. Évapotranspiration potentielle (ETP)

On appelle évapotranspiration potentielle (ETP), la somme des quantités d'eaux pouvant s'évaporer et transpirer sur une surface donnée et pendant une période donnée. L'ETP est exprimée en hauteur de lame d'eau évaporée.

Plusieurs méthodes sont utilisées pour le calcul de l'ETP notamment celles établies par L.TURC (1969) et C.THORNTHWAITE (1954). Par manque de certaines données (durée d'insolation), la méthode de TURC ne peut pas être appliquée dans notre cas, donc nous avons fait recours à la formule empirique de THORNTHWAITE qui utilise la température de l'air et la latitude de la station, et qui est donnée par l'expression suivante :

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

Avec : ETP : Evapotranspiration potentielle du mois en (mm).

T : Température moyenne mensuelle de la période en °C.

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

K : coefficient d'ajustement mensuel lié à la latitude

$$I = \sum_1^{12} i \quad \text{avec; } i = (t/5)^{1,5} \quad a = (1.6 / 100) I + 0,5$$

- si pour un mois $P > ETP$ on pose que l'ETP = ETR, la quantité d'eau qui reste ($P-ETR$) va alimenter la RFU jusqu'à son maximum (100 m) et si elle dépasse cette valeur il y aura un excès (WS) qui va partir soit sous forme d'infiltration efficace vers la nappe, soit sous la forme de ruissellement.

- si $P < ETP$, la valeur de $ETR = P + RFU$, jusqu'à égalisation avec ETP. Si la RFU est nulle, il va se produire un déficit agricole $Da = ETP - ETR$, ce dernier paramètre représente alors le besoin des cultures à l'irrigation.

Mois Paramètres	Sep	Oct.	Nov.	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Août	total
P (mm)	32.54	71.28	87.26	109.61	96.35	77.47	64.65	58.11	36.07	14.17	2.51	10.32	660.34
T (°C)	23.04	19.59	15.34	12.94	11.59	11.72	13.13	15.01	18.15	21.75	25.01	25.46	17.72
i	09.89	07.75	05.37	04.16	03.53	03.58	04.25	05.20	06.91	09.07	11.18	11.49	82.38
K	1.05	0.91	0.75	0.7	0.73	0.78	1.02	1.15	1.32	1.33	1.33	1.24	
ETP (mm)	109	70.42	37.28	25.57	21.84	23.82	38.26	54.96	88.97	124.38	160.16	154.22	
ETR (mm)	32.54	70.42	37.28	25.57	21.84	23.82	38.26	54.96	88.97	61.27	2.51	10.32	467.76
RFU (mm)	0.00	0.86	49.98	100	100	100	100	100	47.10	0.00	0.00	0.00	
Excédent (mm)	0.00	0.00	0.00	34.02	74.51	53.65	26.39	3.15	0.00	0.00	0.00	0.00	191.67
Déficit (mm)	76.46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	63.11	157.65	143.90	- 441.12

Tableau 5 – Bilan évaporométrique de C.W Thornthwaite à la station des Salines
(Année hydrologique : 1972/06, Réserve utile supposée: 100 mm)

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 6 – Bilan évaporométrique de C.W Thornthwaite à la station de Pont Bouchet
(Année hydrologique : 1977/2005, Réserve utile supposée : 100 mm)

II.1.2. Évapotranspiration réelle (ETR)

Elle est aussi appelée, effective, actuelle ou encore déficit d'écoulement, l'ETR représente la quantité de vapeur effectivement exportée vers l'atmosphère par les sols et les végétaux, elle fait intervenir la réserve facilement utilisable (RFU), la quantité d'eau nécessaire aux plantes est retenue dans le sol par les forces capillaires. Elle est déterminée par plusieurs formules :

La formule empirique de *TURC* (données annuelles) dont l'expression est la suivante :

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

Avec :

P : précipitation moyenne annuelle en mm.

T : température moyenne annuelle en °C.

L : pouvoir évaporant.

$$L = 300 + 25t + 0,05 t^3$$

Tableau 7 – l'ETR par la méthode de Turc.

Station	Précipitation	T°C	L	ETR (mm)
Salines	660.34	17.72	1021.20	579.24
Pont Bouchet	614.37	17.83	1029.16	548.54

L'ETR est également calculé par la méthode du bilan hydrique mensuel de THORNTHWAITE qui est une adaptation de la méthode de calcul de L'ETP.

Les valeurs de L'ETP et L'ETR calculées par les méthodes précédemment décrites sont indiquées dans le tableau du bilan hydrique.

On admet que pour qu'il y ait écoulement, il faut que le pouvoir évaporant soit satisfait et par ailleurs, le remplissage de la RFU (max = 100mm), est également prioritaire sur l'écoulement, le tableau précédent récapitule l'opération et les résultats.

III. Conclusion

L'absence d'un réseau météorologique, bien réparti ; et le manque de certaines données (insolation, ...) rend les résultats obtenus entachés d'erreurs.

Mettons à part ces obstacles, on peut dire que la région d'étude est parmi les régions les plus pluvieuses en Algérie. La plaine de Annaba est soumise à un climat méditerranéen caractérisé par deux saisons d'inégale durée:

- Une froide à précipitations dominantes (109.61 mm en Décembre) et à basse température (11.59°C en Janvier).
- Une autre chaude à précipitations ne dépassant pas 2.51 mm en Juillet, à haute température (25,46 °c en Août).

Basée sur le recueil de données de l'Atlas Climatique National publié par l'ONM pour la période 1975-1984, la région de Annaba est une région à la fois humide et ensoleillée. Le nombre moyen d'heures d'ensoleillement varie de 5 h/j en Janvier à 11.5 h/j au mois de Juillet. Pendant la période estivale (Juin - Août), cette région du pays reçoit plus de 10 heures de soleil par jour. Au cours de cette période de l'année, l'action de l'ensoleillement et de l'humidité relative de l'air (proche de 75 %) entraîne un taux d'évaporation relativement élevé.

Le bilan hydrique de Thornthwaite a montré pour une ETR (467.76mm), il relève également que le déficit agricole commence au mois de Juin et se poursuit jusqu'au mois de Septembre. Par ailleurs, la reconstitution de la RFU débute en Octobre, et demeure jusqu'à la fin du mois de Mai où nous assistons à un épuisement du stock.

PARTIE II
IMPACTS DE LA STRUCTURE &
DES PROCESSUS ANTHROPIQUES
SUR L'EVOLUTION PHYSICO-CHIMIQUE
DES EAUX

Chapitre I :

Chapitre I :

Intéraction nappe/oued : Impact sur
Intéraction nappe/oued : Impact sur
l'évolution physico-chimique de la nappe
l'évolution physico-chimique de la nappe
superficielle
superficielle

CHAPITRE I : INTERACTION NAPPE-OUED : IMPACT SUR L'EVOLUTION PHYSICO-CHIMIQUE DE LA NAPPE SUPERFICIELLE

I.1 Introduction

L'hydrochimie constitue depuis plusieurs années un moyen d'investigation privilégié de la structure de fonctionnement de l'aquifère, en effet l'eau est à la fois créative et vecteur d'information (M. BAKALOWICS 1979-1981).

Dans les processus naturels, l'eau est un facteur essentiel aussi bien dans l'altération des roches en surface que dans certains processus de concentrations minéralogiques.

II.1. Mode d'échantillonnage et protocole d'acquisition des données

Notre étude est fondée sur l'échantillonnage dans plusieurs points de mesure, dans les différents secteurs suivants (figure 13) :

- Secteur de Derradji Redjem, (S1)
- Secteur d'El Kerma, (S2)
- Secteur allant de la zone industrielle de Meboudja située à Chaiba ; jusqu'à la zone industrielle de Pont Bouchet, (S3)

Enfin l'échantillonnage de (03 points), au long de l'oued Meboudja,

L'analyse des résultats nous permettra à la fois une étude de chaque point d'eau et sa comparaison avec les différents autres points.

II.2. Caractéristiques des eaux naturelles

- **Rappels de quelques notions de chimie :**

Ces eaux peuvent être polluées par: des substances minérales.

* Sources de ces substances: attaque des roches et des sols par les eaux de ruissellement ou de percolation à travers la croûte terrestre.

* Éléments principaux:

Cations: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Fe , NH_4^+

Anions: HCO_3^- , SO_4^- , Cl^- , NO_3^- , NO_2^- , SiO_2^-

* Influence de la nature du sol:

- Zones de calcaire CaCO_3 pur: surtout $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$.

- Zones sableuses: eaux peu chargées et acides.

- Zones gypseuses: surtout chargée de CaSO_4 .

- Résidu sec important.

- Mg, Na, Cl en quantités notables.

- Zones argileuses: tous les ions sont présents en quantités importantes, peu de bicarbonate (HCO_3)

- Zone cristallines: NaHCO_3

* Influence de temps de contact: plus la durée de contact est élevée, plus l'eau sera chargée et dépend de la nature de terrain.

- Les ions NO_3 , NO_2 , NH_4 et le fluor sont rarement origine naturelle. Il en est de même pour les ions PO_4 .

- Les eaux ferrugineuses: n'apparaissent que lorsque l'oxydation (avec précipitation) n'a pas pu avoir lieu (eaux souterraines) ou lorsque le fer est composé dans des ions organiques (le plus généralement). Le manganèse accompagne fréquemment le fer.

* Substances gazeuses: O_2 , N_2 , CO_2 l' O_2 et le CO_2 Proviennent essentiellement de l'atmosphère. Le CO_2 provient de la fois de l'atmosphère et des réactions de fermentation aérobie (avec O_2) et anaérobie (sans O_2) présentes dans le sol. D'autres gaz de même origine peuvent apparaître dans l'eau : CH_4 , NH_3 , H_2S .

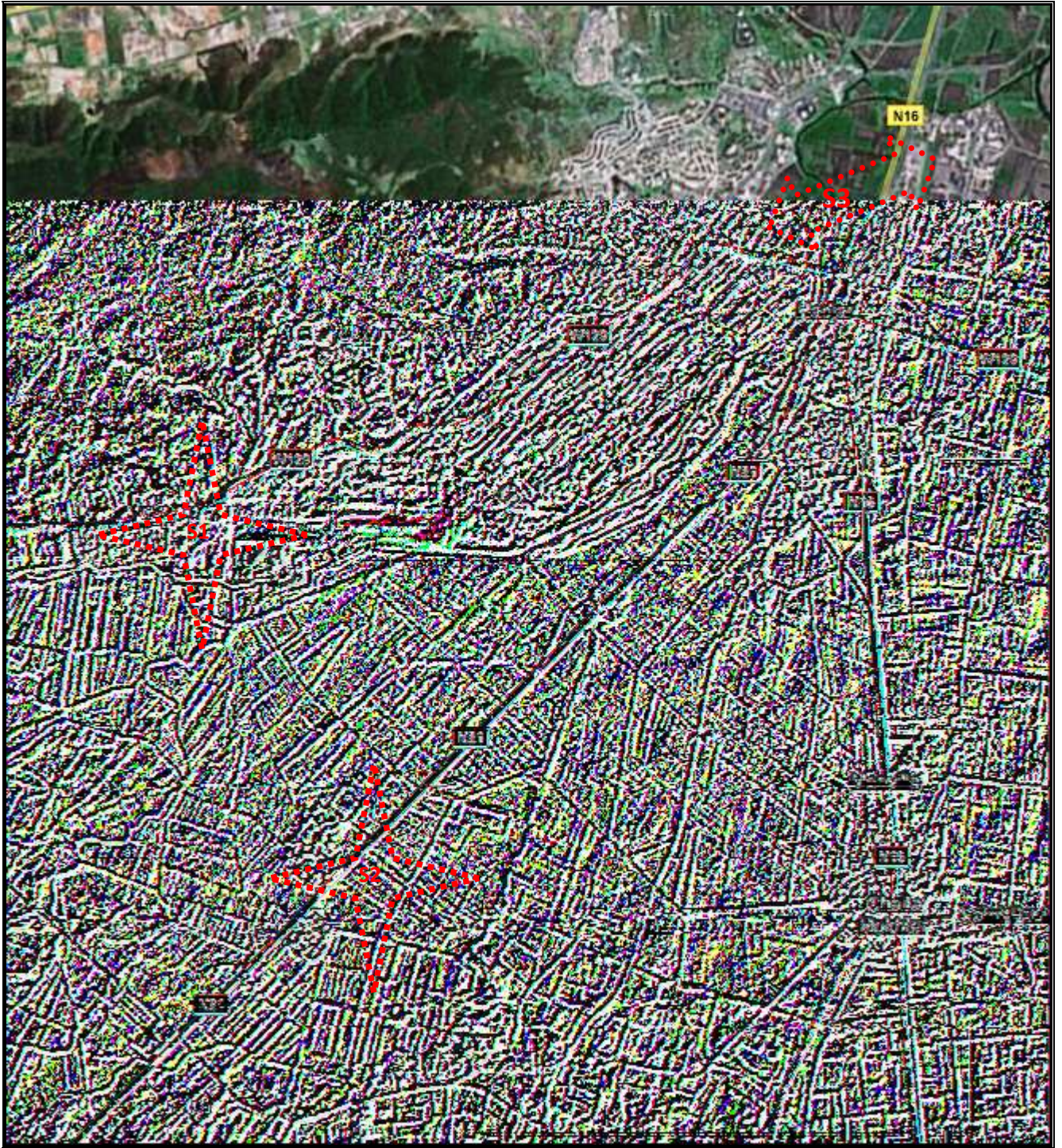


Figure 13 – Répartition des différents secteurs d'études.

II.2.1. Paramètres étudiés et les méthodes d'analyses

- Les éléments majeurs HCO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , ont été dosés au laboratoire de chimie, à l'unité de recherche appliquée en sidérurgie- métallurgie URASM- CSC/ANNABA; par la méthode volumétrique.

- Les modes opératoires des dosages de chaque élément sont donnés en annexes.

Pour les mesures effectués sur le terrain des différents paramètres physico-chimiques, (La conductivité, la température, le pH et le E_H) on a utilisé (figure 14).

- Conductivimètre type (HANNA instruments Hi 8633), mesuré en $\mu\text{s}/\text{cm}$
- pH - mètre, (Mettler Toledo MP 120),

Les prélèvements sont effectués avec un tube préleveur d'un mètre de longueur attaché à un décimètre graduée.



Figure 14 – Instruments utilisés.

II.2.2. Les paramètres chimiques

Deux méthodes ont été employées pour réaliser les dosages :

- Volumétriques.
- La spectrométrie d'absorption atomique à flamme.

II.2.3. Volumétrie ou titrimétrie

II.2.3.1 Dureté totale ou titre hydrotimétrique (TH) : la mesure du TH correspond à la teneur globale en sel de calcium et de magnésium qui sont responsables de la dureté de l'eau,

L'unité de mesure du TH est le degré français (°f) $1^{\circ}\text{f} = 4 \text{ mg/l}$ de calcium ou $2,4 \text{ mg/l}$ de magnésium, ou encore 10 mg/l de Ca CO_3 (carbonate de calcium ou plus communément "le tartre").

On distingue :

- le TH total : Totalité des sels de calcium et magnésium, c'est cette valeur qui est utilisée lorsque l'on parle couramment du TH ou de la dureté de l'eau.
- TH calcique : Totalité des sels de calcium.
- TH magnésien : Totalité des sels de magnésium.
- TH temporaire : Ou dureté carbonatée correspond aux carbonates et bicarbonates de calcium susceptibles de précipiter par ébullition, il est égal au TAC si le TH est supérieur au TAC (cas le plus courant) ou au TH si le TAC est supérieur au TH.
- TH permanent : Ou dureté non carbonatée correspond au sulfate et au chlorure de calcium stables, il est égal à la différence entre le TH et le TAC.

-Le dosage se fait par complexométrie avec l'acide EDTA (sel tétra sodique de l'acide éthylène diamine tétra acétique), en milieu tamponnée ($\text{NH}_4\text{Cl}.\text{NH}_4\text{OH}$) à pH 10 en présence d'un indicateur coloré, le noir d'ériochrome.

II.2.3.2. Dosage du Calcium : Ca^{+2} (mg/l) il se fait par complexométrie à pH <12 par l'EDTA de Ca (Mg ne perturbe pas l'analyse puis dans ces conditions de pH, il se précipite sous forme d'hydroxyde de Magnésium).

II.2.3.3. Dosage du magnésium : Mg^{2+} (mg/l) La valeur de Mg est déduite à partir de $\text{TH} - \text{Ca}$. Il est donné par : $\text{Mg}^{+2} = \text{TH} - \text{Ca}^{+2}$.

II.2.3.4. TA et le TAC (Titre alcalimétrique et titre alcalimétrique complet) : Ces deux valeurs permettent de connaître les concentrations en bicarbonates, carbonates et éventuellement en hydroxydes (bases fortes) contenues dans l'eau.

On distingue le titre alcalimétrique (TA), qui correspond à la teneur de l'eau en ions OH^- et CO_3^{2-} pour le $\text{pH} < 8.3$ (ce qui est le cas de nos échantillons).

-La teneur en OH^- et CO_3^{2-} est négligeable ($\text{TA} = 0$), dans ce cas, la mesure du Tac correspond à l'analyse de HCO_3^- , seul le dosage se fait par acidimétrie à l'aide d'une solution de H_2SO_4 . La fin de la réaction est atteinte à $\text{pH} = 4.4$, nos échantillons, l'indicateur coloré est le méthyle orange.

II.2.3.5. Les chlorures : Cl^- (mg/l) Il suffit de prendre 50 ml d'eau à analyser plus 2 ml d'acide $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ puis titré au Nitrates d'argent AgNO_3 .

Le tableau ci-dessus montre l'utilité de chaque analyse, il est applicable pour des eaux de composition courante :

Tableau 8 – Description et utilité de chaque analyse.

Analyses	Description et utilité	Dans quels cas réaliser cette analyse ?
<u>pH</u>	La mesure du pH (potentiel Hydrogène) traduit l'acidité ou l'alcalinité d'un milieu	Tous types d'eau et de traitement,
<u>TH (Titre Hydrotimétrique)</u>	Correspond à la dureté d'une eau, en relation avec la proportion de calcium et de magnésium	
<u>TA et TAC</u>	Proportion de carbonate et de bicarbonate, avec le TH et le pH, ils déterminent le caractère entartrant ou agressif d'une eau	Tous types d'eau et de traitement,
<u>Chlorures</u>	Un des éléments de la salinité, en forte proportion ils augmentent le caractère corrosif de l'eau	Présents sur tous types d'eau,
<u>Conductivité</u>	Est en relation directe avec la salinité totale de l'eau, unités: milli- siemens (mS) ou micro-	Tous types d'eau et de traitement, contrôle de la salinité totale de l'eau

	siemens (μS)	
<u>Fer dissous</u>	C'est un indicateur de suivi de la corrosion	Sur tous type d'eau et de traitement, l'eau potable doit en contenir moins de 0,1 mg/l
<u>Fer total</u>	Comprend le fer dissous et le fer présent sous forme de particules en suspension	Le fer en suspension est présent sous plusieurs formes: métallique ou oxyde ferreux noir il est magnétique, sous forme d'oxyde ferrique de couleur rouille il est non magnétique.

II.2.4. Paramètres de contrôle

a) Le pH (potentiel hydrogène)

Rappels

Le pH est un terme qui mesure la concentration en H^+ dans l'eau. Il est défini mathématiquement par : $\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$.

L'eau pure H_2O subit en permanence des dissociations suivant la réaction $\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}^+ + \text{OH}^-$, la concentration en H^+ (et en OH^-) est de $10^{-7} \text{ mol.l}^{-1}$. Le pH vaut donc 7. $\text{pH} = 7$ est le pH neutre ; si $\text{pH} > 7$, on parle de pH basique, si $\text{pH} < 7$ on parle de pH acide.

Le produit ($K_w = [\text{H}^+]. [\text{OH}^-]$) qui dans l'eau vaut $10^{-14,2}$).

Le pH des eaux naturelles

Le pH est un paramètre excessivement important dans les eaux naturelles qui va influencer énormément la solubilité des espèces ioniques et la précipitation des minéraux.

La figure suivante montre que l'on peut attribuer à chaque type d'eau une valeur de pH. On peut faire une distinction grossière des eaux naturelles en fonction de leur pH:

Tableau 9 – le pH des eaux naturelles

pH	Eau naturelle
10	Sols alcalins
8,5	Eau de mer
7	Eau de rivière
6	Eau de pluie
4	Tourbières
3	Eau de mine
1	Sources chaudes acides

Remarque :

Le pH est un des paramètres importants influençant la tendance entartrante ou agressive d'une eau naturelle: d'une manière générale une baisse du pH favorisera la tendance agressive et une élévation du pH, le caractère entartrant.

b) Le E_H (potentiel d'oxydo- réduction)

Certains éléments ont la particularité d'avoir plusieurs valences. Par exemple, le fer peut se trouver sous la forme $Fe^{(0)}$, Fe^{2+} et Fe^{3+} ; le soufre existe sous forme S^{2-} , $S^{(0)}$, S^{6+} . Ces éléments ont donc la propriété d'échanger des électrons avec le milieu.

L'échange d'électrons se fait entre un donneur et un accepteur d'électrons :

espèce réduite = espèce oxydée + (n) électrons

Le potentiel d'oxydo-réduction E_H (en mV) se définit ; comme le potentiel que prend une électrode de platine plongée dans une solution quand celle-ci est en équilibre du point de vue des réactions d'oxydo-réduction de tous les couples redox qu'elle contient. C'est une grandeur qui se calcule par la relation de Nernst :

$$E_H = E_o + RT/nF * \ln (K)$$

Dans laquelle :

E_0 : potentiel standard (conditions standard),

n : nombre d'électrons échangés lors de la réaction,

K : constante d'équilibre de la réaction.

En regroupant sous un même terme les constantes de l'équation (R , T et le facteur de transformation \ln/\log décimal), on aboutit à la relation :

$$E_h = E_0 + 0,059/n * \log K$$

c) La conductivité (**CE**)

Elle dépend de la concentration en sels dissous conducteurs, sa mesure qui est simple et rapide est très utile pour le suivi dans le temps d'une même eau car elle permet de déceler immédiatement une variation de sa composition, par exemple :

- Il est indispensable de préciser la température de référence à laquelle se rapporte la mesure, la conductivité augmente avec la température.
- La conductivité est généralement mesurée en micro-siemens par cm ($\mu\text{S}/\text{cm}$).
- Approximativement la valeur en $\mu\text{S}/\text{cm}$ de la conductivité correspond à la salinité en mg/l . (voir tableau) :

Tableau 10 – calcul de la minéralisation à partir de la conductivité.

Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Minéralisation (mg/l)
Conductivité < 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$	1.365079 * conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$) à 20°C
50 < conductivité <166	0.947658 * conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$) à 20° C
166 < conductivité < 333	0.769574 * conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$) à 20° C
333 < conductivité < 833	0.715920 * conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$) à 20° C
833 < conductivité <10000	0.758544 * conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$) à 20° C
conductivité >10000	0.850432 * conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$) à 20° C

Remarque :

On utilise également la résistivité, inverse de la conductivité, mesurée en ohms.cm : Résistivité (ohms.cm) = 1 000 000 / conductivité (en $\mu\text{S}/\text{cm}$).

d) Les matières en suspension – MES

1. Définition et impact

La pollution d'une eau peut être associée à la présence d'objets flottants, de matières grossières et de particules en suspension.

En fonction de la taille de ces particules, on distingue généralement :

- les matières en suspension (de nature organique ou minérale) qui sont des matières insolubles, fines.
- les matières grossières (décantables ou flottables) ;

Durant toute la période ; nous avons trouvé des valeurs, qui s'étale de 106.2 (MO37) mg/l à 1048.4 (MO25) mg/l (Le résultat est exprimé en mg/l).

Pendant la période pluvieuse les eaux sont turbides, elles sont plutôt fortement huileuses qu'en période sèche.

Cette pollution particulière est à l'origine de nombreux problèmes comme ceux liés au dépôt de matières, à leur capacité d'adsorption physico-chimique ou aux phénomènes de détérioration du matériel (bouchage, abrasion, ...), qui attribue par conséquence, à une pollution des terres agricoles.

Leur principal effet est de troubler l'eau, diminuant le rayonnement lumineux indispensable pour une bonne croissance des végétaux au fond des cours d'eau : c'est la turbidité.

Si un phénomène de décantation se produit il y aura une contamination de sol ainsi que la nappe superficielle avec le temps.

2. Méthodes de mesures

Il existe deux méthodes normalisées d'analyse des MES :

- La méthode par filtration sur filtre en fibres de verre. (NF EN 872)
- La méthode par centrifugation (NF T 90-105-2).

Il est très difficile de mesurer les MES en continu. Pour cela, la méthode la plus utilisée est la mesure de la turbidité (NF EN ISO 7027).

e) L'oxydo réduction

Une [réaction](#) d'**oxydo-réduction** est un processus de transfert d'électrons d'une espèce à une autre. On appelle *réducteur* l'espèce qui cède les électrons et *oxydant* l'espèce qui les capte au cours de la réaction.

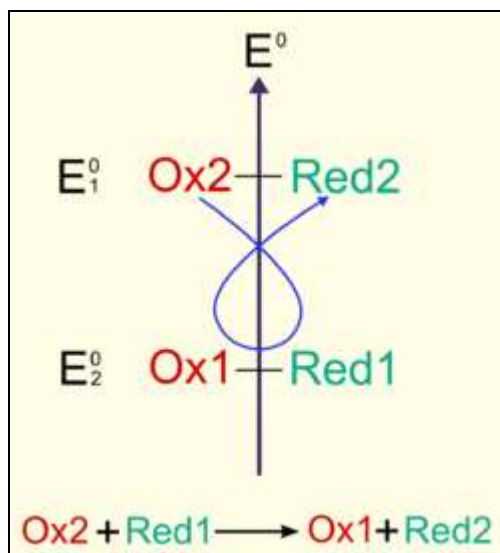


Figure. 15 –l'oxydo-réduction.

Prévision du sens d'une réaction d'oxydo-réduction en utilisant la règle du gamma

Dans une oxydo-réduction,

- l'élément qui perd un ou des électron(s) est appelé **réducteur**,
- l'élément qui capte un ou des électron(s) est appelé **oxydant**.

II.2.5. LA SPECTROMETRIE D'ABSORPTION ATOMIQUE

Les dosages du fer (t), manganèse, du zinc, du plomb, du nickel, du chrome, du cuivre, sont effectués par spectrophotométrie d'absorption atomique à flamme (Perkin Elmer Analyst 3110).elle est en général, la technique analytique la plus utilisée par les laboratoires pour déterminer et quantifier de faibles teneurs en éléments traces métalliques (ETM).



Figure. 16 –Spectrophotomètre d'absorption atomique à flamme (**Perkin Elmer Analyst 3110**).

II.2.5.1 Nom de la méthode : Absorption atomique

La spectrométrie atomique est basée sur l'absorption, l'émission ou la fluorescence par des atomes ou des ions élémentaires. Les spectres UV s'obtiennent en convertissant les éléments d'un échantillon sous forme gazeuse par un chauffage approprié.

Lors d'analyses par absorption atomique, un échantillon liquide est introduit par un tube capillaire vers un nébuliseur qui réduit l'échantillon en fines gouttelettes, lesquelles sont introduites dans la flamme d'un brûleur (flamme 1700°C-3200°C). Ce processus de vaporisation atomique s'appelle l'atomisation. L'atomisation s'obtient à l'aide d'une flamme formée d'un mélange air-acétylène (air- C_2H_2) ou d'oxyde nitreux-acétylène ($N_2O - C_2H_2$).

Un ensemble complexe de réactions interdépendantes se produit lors de l'atomisation; ces processus entraînent la formation d'un mélange d'atomes, d'ions, de molécules et d'oxydes par la réaction du carburant, de l'oxydant et des éléments contenus dans la solution à analyser. L'étape d'atomisation est donc l'élément le plus critique pour un bon rendement analytique.

II.2.5.2 Domaine spécifique d'application :

- Analyses quantitatives élémentaires
- Dosage de traces et Ultra traces pour un très grand nombre d'éléments

II.2.5.3 Caractéristiques de la méthode :

Cette méthode présente de nombreux avantages :

-La technique est simple si on sait préparer les solutions initiales.

-Elle est très documentée : tous les pièges sont connus et répertoriés dans le COOK BOOK, livré avec l'appareil.

-Simplicité; rapidité.

II.2.5.4- Description d'une méthode d'analyse spectrométrique :

L'opérateur chargé d'un dosage par une méthode spectrométrique doit disposer d'instructions détaillées décrivant toutes les phases d'analyses.

II.2.5.5. Préparation de l'échantillon :

II.2.5.5.1- Analyse de solution : Si l'échantillon est analysé sous forme de solution, ce qui est le cas général en absorption atomique, on retrouvera les indications habituelles de la chimie en solution; réglage de la concentration et de la forme chimique des éléments à doser, séparation chimique préalable pour certains dosages, ajout éventuel de tampons, de complexant ou d'étalons internes, une attention particulière sera apportée aux conditions de conservation des échantillons.

II.2.5.5.2- Étalonnage : Des matériaux de références seront adoptés pour la production et l'analyse du spectre de l'échantillon

II.2.5.5.3 - Dépouillement des résultats :

La dernière étape du mode opératoire sera le calcul des concentrations à partir des résultats expérimentaux et si le récepteur est électronique (ce qui est notre cas), il fournit directement des résultats exploitables

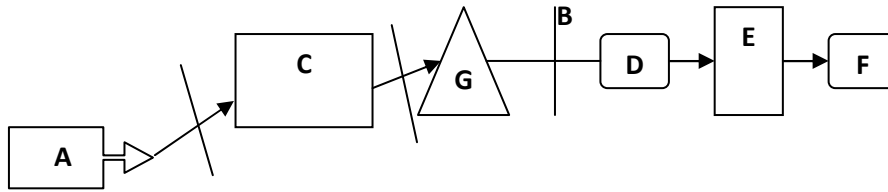
II.2.5.5.4- Appareillage :

Un appareil de spectrométrie d'absorption atomique comprend les constituants essentiels suivants (figure 17) :

- un générateur de photons,
- un générateur d'atomes constituant la cellule d'absorption,
- un monochromateur simple,

- un détecteur associé à l'ensemble électrique de mesure

Ces constituants sont souvent complétés par un modulateur



A : générateur de photons

E : amplificateur redresseur

B : modulateur

F : enregistreur

C : cellule d'absorption

G : monochromateur avec fentes

D : détecteur

d'entrée et de sortie

Figure 17 – Appareil d'absorption atomique.

II.2.5.5.5- Principe de fonctionnement:

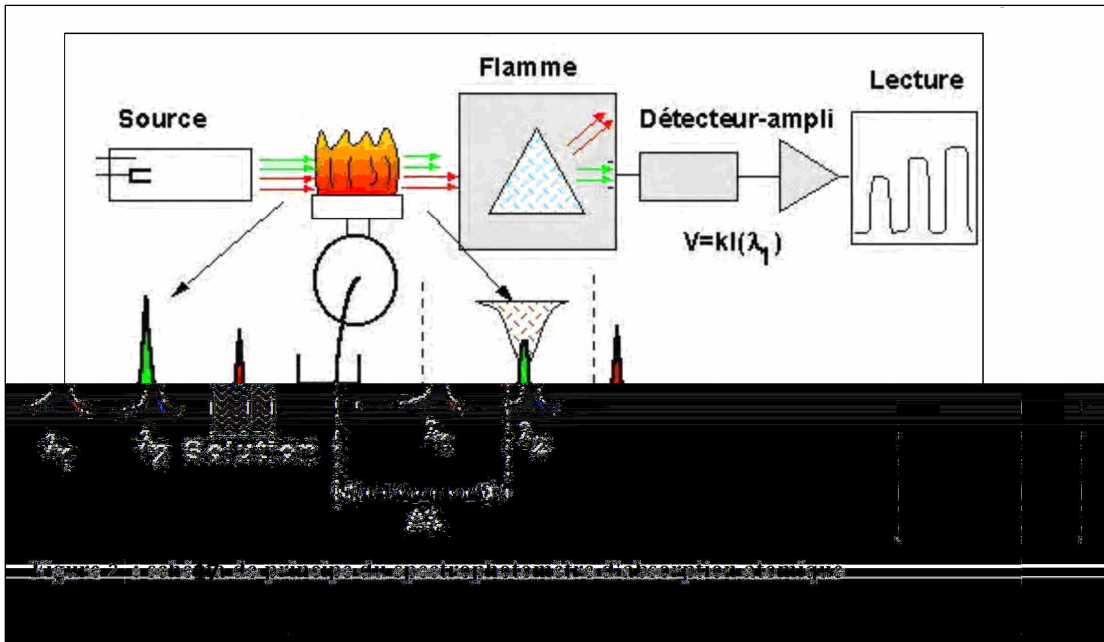
Le principe de fonctionnement de l'appareil est alors le suivant (figure 18) :

La source de photons émet une raie étroite du spectre de l'élément à doser; cette radiation est modulée avant de traverser la vapeur atomique provenant de l'échantillon ou elle est partiellement absorbée par les atomes de l'élément déterminé, elle est ensuite isolée par le monochromateur et envoyée sur un détecteur photoélectrique.

Le signal émis par ce dernier est transmis à un amplificateur accordé sur la fréquence de modulation : seul le signal dû à la radiation provenant de la source est amplifiée.

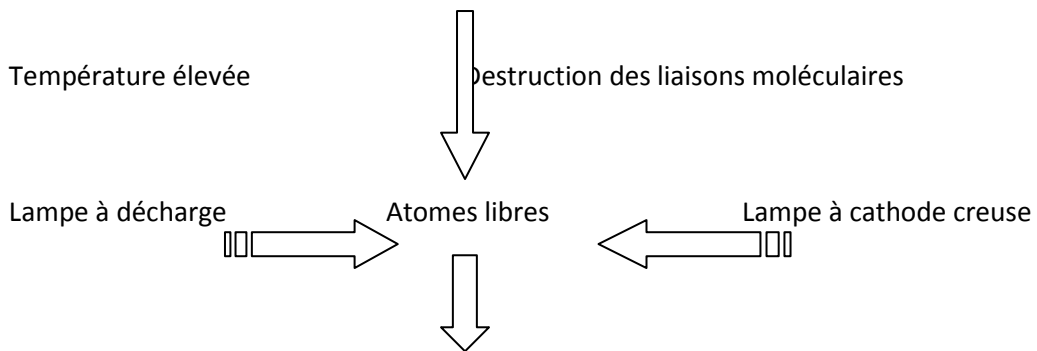
La radiation parasite émise dans la flamme n'est pas modifiée et ne donne aucun signal à la sortie de l'amplificateur. C'est la mesure de ce signal amplifié qui permet de connaître la valeur de l'intensité avant et après l'absorption.

Pour corriger les variations d'intensité de la lampe, on utilise quelque fois des montages en double faisceau.



On peut résumer le principe; comme suit :

Echantillon



Absorption des radiations U.V et visibles à λ spécifiques

$$D.O = \log I_0/I = KLC$$

L'absorbance est en fonction de la quantité d'atomes libres traversés par la radiation.

II.2.5.5.6- Mesures :

Pour l'établissement de la loi de Beer-Lambert on suppose donc que l'on dispose d'un rayonnement monochromatique (ou du moins de largeur plus fine que le profil d'absorption) d'intensité constante $I_0\lambda$ à la longueur d'onde λ correspondant en général au 10 maximum du profil d'absorption (figure 19).

II.2.5.5.7- Expressions de la loi :

On obtient :

$$\log_{10} I_0\lambda/I\lambda = \epsilon_\lambda l c$$

avec ϵ_λ : constante qui dépend de l'atome absorbant.

l : longueur de la flamme.

c : concentration de la solution en élément absorbant.

$\log_{10} I_0\lambda/I\lambda$ s'appelle l'absorbance ou densité optique (à ne pas confondre avec le % d'absorption).

En effet :

$$\text{absorbance} = \text{ABS} = \log I_0\lambda / I\lambda = \epsilon_\lambda l c.$$

$$\% \text{absorption} = \% A = 100 I_0\lambda - I\lambda / I_0\lambda = \epsilon_\lambda l c.$$

$$\% \text{transmission} = \% T = 100 I\lambda / I_0\lambda = 100 - \% A.$$

$$\text{ABS} = \log_{10} 100 / \% T = \log_{10} 100 / 100 - \% A.$$

Le % A varie entre 0 et 100.

Le % T varie entre 100 et 0.

L'absorbance à une longueur d'onde donnée est proportionnelle à la concentration des espèces absorbantes, ce qui est à la base de l'analyse quantitative.

Lorsqu'on veut faire de l'analyse quantitative par spectrophotométrie d'absorption:

- On mesure d'abord le profil ou la bande d'absorption pour déterminer le ou les maxima de ϵ_λ (avec une solution de concentration donnée permettant une absorption suffisante).

- On choisit alors la longueur d'onde λ pour laquelle ϵ_λ est maximum. Comme ϵ_λ varie avec λ , on aura intérêt, pour une concentration donnée, à choisir la longueur d'onde pour laquelle ϵ_λ est maximum, afin d'avoir l'absorbance la plus élevée possible.
- On établit une courbe d'étalonnage donnant l'absorbance en fonction de la concentration connue des solutions étalons.

On doit obtenir une droite $ABS = \epsilon_\lambda l c$ passant par l'origine et dont la pente est $\epsilon_\lambda l$.

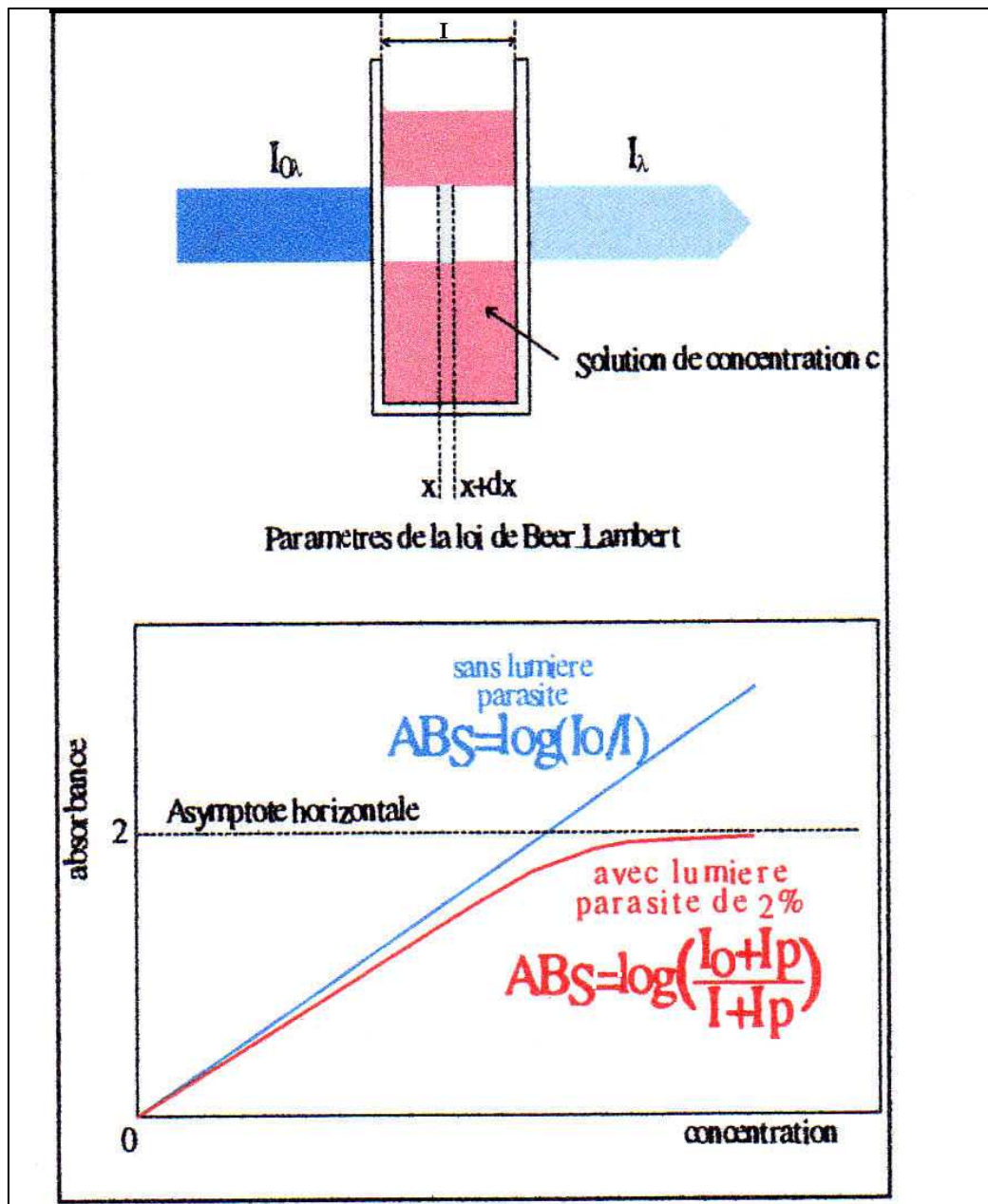


Figure 19 – Loi de Beer-Lambert

II.2.5.5.8- Sources:

On utilise en spectrométrie deux types de sources:

- La lampe à cathode creuse (la plus répandue)
- La lampe EDL

Le spectrophotomètre d'absorption atomique, que nous avons utilisé; est doté de la lampe à cathode creuse.

La lampe à cathode creuse est une source discontinue émettant des raies fines caractéristiques des atomes constituant la cathode.

Généralement la cathode est mono-élément, ce qui impose une lampe par élément à doser, bien que quelques lampes multi-éléments (2 à 5) soient commercialisées, avec un risque de durée de vie raccourcie. La sélectivité de la lampe monoélément permet cependant de limiter les risques d'interférences spectrales.

Le rayonnement d'une source lumineuse (une cathode creuse ou une lampe à décharge sans électrodes) émet le spectre de l'élément à analyser. Le spectre passe à travers la flamme contenant des atomes de l'élément d'intérêt à l'état fondamental.

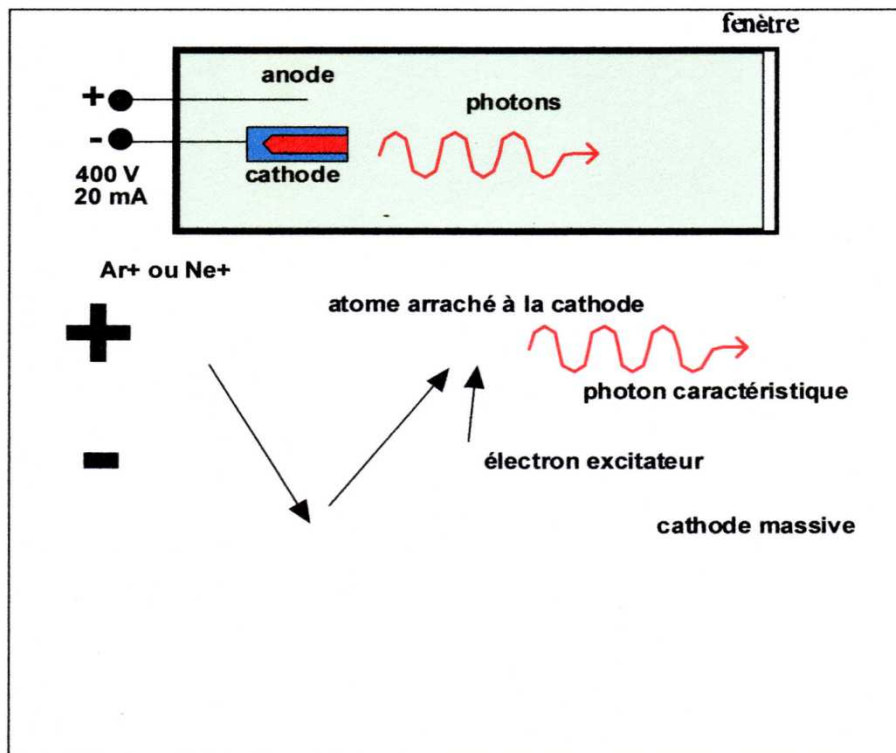


Figure 20 – lampe à cathode creuse.

Le rayonnement de la source est absorbé induisant une transition électronique de l'état fondamental stable à un état excité.

La quantité de rayonnement absorbée dépend de la population de l'élément à l'état fondamental qui est proportionnelle à la concentration d'élément dans l'échantillon. L'absorption d'une longueur d'onde choisie est mesurée par le changement de l'intensité de la lumière frappant le détecteur par la présence et/ou l'absence de l'élément dans la flamme.

L'absorption atomique (AA) utilise la propriété des atomes à absorber leur propre émission.

Les défis pour les échantillons géologiques consistent:

- à bien atomiser l'échantillon et non l'ioniser
- à solubiliser et conserver l'échantillon dans la solution (passage des minéraux en solution et pas de précipitation)
- à contrôler les interférences en agençant les matrices.

L'atomisation se maîtrise par le bon choix de nébuliseur, en optimisant l'aspiration d'échantillons, la position de la flamme par rapport au faisceau à absorber et la température de la flamme (acétylène-air ou acétylène-oxyde nitreux). Cette température s'évalue par; la couleur de la flamme, et le rapport des gaz (acétylène/air ou acétylène/oxyde nitreux); contrôle la température.

Le tableau suivant illustre, certaines longueurs d'ondes et le type de gaz utilisé correspondants aux éléments;

Tableau 11 – longueurs d'ondes et le type de gaz utilisé.

éléments	Longueur d'onde	Fonte	Gaz	Check
Cu	324.8	0.7	A-Ac	4.0
Zn	213.9	0.7	A-Ac	1.0
Cr	357.9	0.7	A-Ac	4.0
Ni	232.0	0.2	A-Ac	7.0
Pb	283.3	0.7	A-Ac	20.0
Mn	279.5	0.2	A-Ac	2.5
Fe	248.3	0.2	A-Ac	6

Les solutions de références (ou standards) sont préparées soit à l'aide de solutions pures achetées pour l'absorption atomique ou encore à l'aide de roches connues (échantillons de référence) fusionnées et mises en solution de la même façon que les inconnus.

La technique de calibration par rapport à des roches naturelles est moins utilisée par ce qu'elle est moins pratique et il n'est pas facile de s'assurer que la mise en solution soit parfaite. De plus, il faut faire plusieurs dilutions pour demeurer dans la fourchette de linéarité de l'appareil (typiquement entre 1 et 5 g/ml. Les solutions achetées ont des concentrations de 1000 g/ml et il faut les diluer pour être dans la partie linéaire du spectre.

III. Résultats et interprétations

III.1. Variations des éléments majeurs

Les variations des éléments majeurs, de deux campagnes [Février 1999 (Débièche) – Février 2007 (notre travail)] sur les mêmes points de prélèvements ; ce sont surtout les ions en Cl^- ;

Ca^{2+} ; Mg^{2+} ; et HCO_3^- qui ont fait l'objet de variation plus importantes, au niveau des eaux de la nappe superficielle, cependant au niveau des eaux de surface les résultats reportés n'intéressent que la dernière campagne.

Pour mieux traduire l'évolution en ces éléments, on doit ajouter l'influence des précipitations des deux cycles correspondants et voire l'influence des pluies, qui provoquent par saison le lessivage des terrains (figure 21).

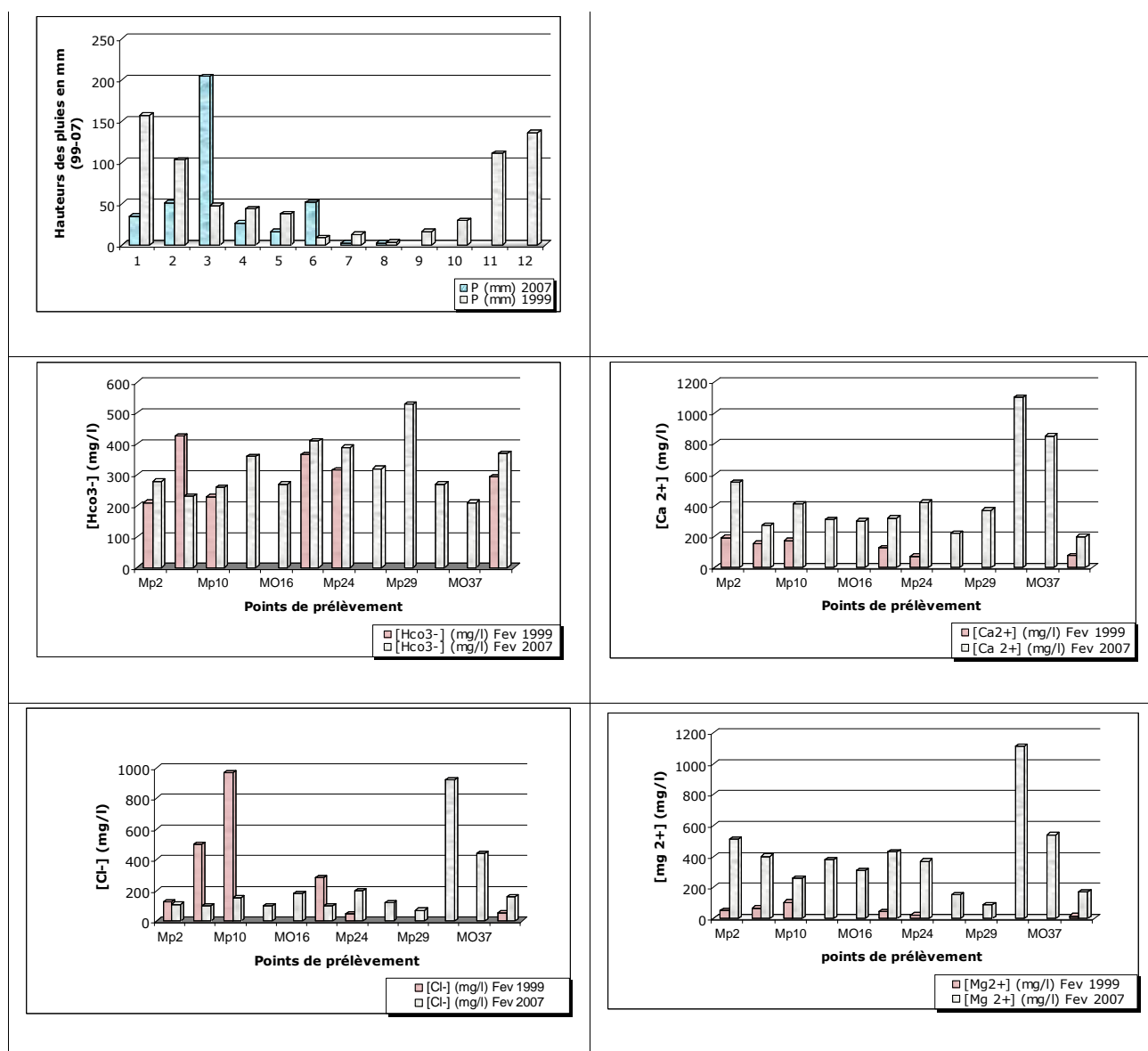


Figure 21– Variations des éléments majeurs.

a) Diagramme des bicarbonates :

Les concentrations en bicarbonates sont de l'ordre de (230 à 425 mg/l) du côté du secteur 01 (Derradji Rdjem) pour les deux compagnes, atteignant leurs maximums au niveau de p29 avec (530 mg/l) Fev 2007, et p6 (425 mg/l) Fev 1999, pour les autres points les valeurs sont plus ou moins rapprochées. Ceci s'explique par l'infiltration qui dissout CO_2 atmosphérique avec la présence des calcaires, cipolin (formations carbonatées) riche en calcite.

b) Diagramme des chlorures :

On remarque la présence des chlorures dans les trois secteurs; avec des concentrations excessives surtout dans la rive est et ouest de l'oued Meboudja atteignant un maximum de 965 mg/l p10 (février 1999), 920 mg/l p 36 février 2007, est attribuée à une pollution provoquée par les eaux d'infiltration après une mise en solution.

c) Diagramme de magnésium :

On note des fortes teneurs dans le secteurs de Derraji Rdjem variant entre (260-510mg/l p2) Par contre, les eaux de la compagne 99 sont moins riches en magnésium et cela est dû au grand degré de dissolution et de l'altération des horizons pédologiques.

Les eaux de la nappe superficielle ainsi que les eaux de surface renferment de fortes concentrations dépassant de loin les normes (50mg/l).

d) Diagramme de Calcium :

L'évolution en cet élément est bien marquée dans la compagne de 2007 ou on observe une prédominance ; qui dépasse les valeurs de 1999, le maximum est observé au niveau du secteur 2 p36 avec (1110 mg/l), sa provenance est celle du magnésium.

La chimie des eaux de la nappe superficielle est caractérisée par une grande variation des concentrations des éléments chimiques : Cl^- (100 – 920 mg.l^{-1}), Ca^{2+} , Mg^{2+} et HCO_3^- (210 – 530 mg.l^{-1}).

L'origine de ces éléments chimiques est dans l'ensemble liée à la nature, par l'effet de la dissolution des formations géologiques (gypse, cipolin, gneiss...etc.).

III.2. Variations de la Température

La température est l'un des paramètres à mesurer et notée sur place au moment du prélèvement et cela, quelles que soient les analyses à effectuer par la suite. (TARDAT–HENRY et BEAUDRY, 1984).

La température des eaux de la nappe superficielle est comprise entre 11°C et 26.6°C; cette variation dépend bien évidemment des périodicités saisonnières, et aux changements climatiques, elle ne dépasse pas la norme (< 25 °C) dans la majorité des points.

Si la valeur limite des rejets d'effluent liquides industriels, est de (30°C) ; les changements des températures des eaux de surface sont inférieurs (à 30°C) ; la valeur de 31.4°C MO 25 au mois de Juin, reste la plus élevée de toute la campagne en fonction des conditions externes (figure 22).

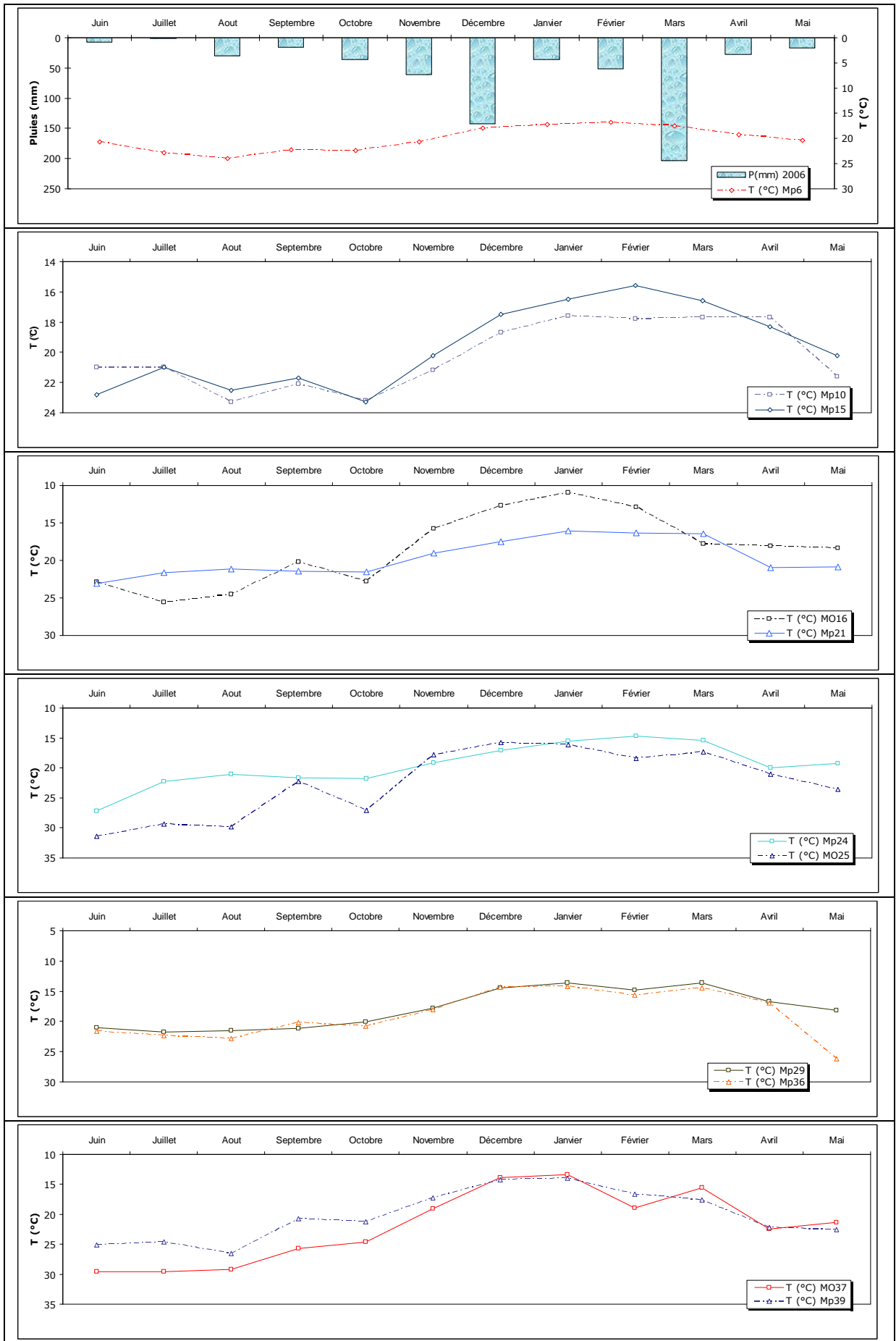


Figure 22 – Variations de la Température.

Les variations de température font partie du régime climatique normal. La température des plans d'eau naturels subit des variations saisonnières et diurnes, de même qu'une stratification verticale.

III.3. Métaux lourds

III.3.1. Généralités:

On appelle métaux lourds les éléments métalliques naturels dont la masse volumique dépasse 5 g/cm³. Ceux-ci sont présents le plus souvent dans l'environnement. Parmi les éléments les plus couramment désignés par le terme « métal lourd » on retrouve : mercure, plomb, cadmium, cuivre, arsenic, nickel, zinc, cobalt, manganèse. Les plus **toxiques** d'entre eux sont le plomb, le cadmium et le mercure.

Le terme "éléments traces" est aussi souvent utilisé pour décrire ces mêmes éléments, car ils se retrouvent souvent en très faible quantité dans les solides.

III.3.2. Sources d'émission

Ceux ci sont présents dans l'eau, l'air et le sol. Comme tous les minerais, les métaux lourds; sont présents dans les roches. Ces réserves naturelles ne constituent pas en elles-mêmes de danger à proprement parler. L'exploitation des gisements, l'érosion, les prélèvements d'eau ou les éruptions volcaniques, vont répandre des traces de ces éléments dans l'environnement. Ils peuvent alors devenir toxiques s'ils se retrouvent en quantités suffisantes dans les organismes vivants.

Outres ces phénomènes naturels, l'activité humaine, même si elle ne crée pas de métaux lourds, participe à leur diffusion dans l'environnement :

- Prenons exemple les rejets physiques de plomb; l'industrie métallurgique et minière est la principale source d'émission humaine, le plomb étant présent dans les déchets d'exploitation. On peut citer également la présence de plomb dans les batteries automobiles.
- Les rejets atmosphériques : Ces rejets concernent la quasi totalité des métaux, mercure, cadmium, arsenic, chrome, plomb.

III.3.3. Les rejets de métaux lourds dans l'eau

Pendant de nombreuses années, l'industrie sidérurgique; de (Arcelor-Mittal 2006); située à une distance de 2 km de l'accès routier sur le CW 129 dénommé « entrée cokerie »; à proximité de cours d'eau (pour des raisons de refroidissement, de procès de transport) rejette leurs effluents au sein même de l'oued Meboudja. Où l'usine a stockée :

- avant 1985, sans tri ni traitement, tous les sous-produits et déchets industriels liés à l'activité (laitier de haut fourneau rocheux et granulé, scories d'aciérie, déchets métalliques, déchets

réfractaires, boues de laminoirs, mattes de zinc, déchets divers, etc.), mais aussi les ordures ménagères des cantines et des communes environnantes.

- à partir de 1985, uniquement des scrapes, de machine à couler la fonte, des mattes de zinc de galvanisation, des boues et de la calamine de laminoirs, des gruaux de chaux éteintes, des chutes de bois et des déchets divers.

A ce phénomène (de plus en plus limité par l'installation de station d'épuration au sein même de ce site industriel), il faut ajouter l'érosion et le ruissellement de l'eau sur les sols et chaussées.

L'eau constitue un élément fondamental en matière de pollution, puisque dans le cas des métaux, comme pour d'autres composants, celle-ci va favoriser de nombreuses réactions chimiques. L'eau de l'oued Meboudja contaminée par des éléments toxiques, transporte les métaux lourds, à un moment donné; elle converge et déverse dans l'oued Seybouse; ce dernier se débouche; plus au nord; vers la mer méditerranéenne, et les inserts dans les chaînes alimentaires (algues, poissons, etc.). Même si les métaux lourds sont le plus souvent présents à l'état de traces, ils n'en restent pas moins très dangereux, puisque leur toxicité se développe par bioaccumulation dans les organismes.

La quantité nécessaire d'eau, sa qualité et les charges géométriques aux entrées des ateliers ainsi que la quantité d'eaux vannes, leur caractéristique, les régimes de la consommation d'eau et l'évacuation selon deux variantes sont donnés dans la table 12.

Tableau 12 – Dépenses d'eau potable au niveau de l'usine.

TABLE DE DEPENSES D'EAU POTABLE (pour les besoins sanitaires et de production,)						
N°	Dénomination des ateliers.	Charge géométrique requise à l'entrée de l'atelier	I variante		II variante	
			dépense moyenne par jour m3/jour	dépense de calcul l/jour	dépense moyenne par jour m3/jour	dépense de calcul l/jour
1	Pelletisation	20-25	66,0	7,4		
2	Hauts fourneaux	//	53,0	5,4	53,0	5,4
3	Aciérie à oxygène	//	224,0	24,4	224,0	24,4
4	Laminoirs	//	239,0	25,5	169,0	18,1
5	Centrale thermique-centrale à vent	//	18,0	1,9	18,0	1,9
6	Centrale à oxygène	//	5,0	0,6	5,0	0,6
7	Dépoussiérage	//	2,0	0,2	2,0	0,2
8	Réfractaires	//	41,0	4,2	42,0	4,7
9	Cokerie	//	600,0	62,5	600,0	62,5
10	Cantines	//	49,0	0,9	49,0	0,9
11	Agglomération n°2	//			74,0	7,9
12	Besoins de production (laboratoire, ventilation)	//	3800,0	64,0	3800,0	64,0
Au total			5097,0	197,0	5036,0	190,6
Autres dépenses			250,0	10,0	250,0	10,0
En entier			5347,0	207,0	5286,0	200,6

III.3.3.1 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 13 permet de citer quelques entreprises dont les rejets rejoignent directement ou indirectement la Meboudja.

Tableau 13 – 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 ³ /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	Acierie	4,8	rejet non polluant	O. Meboudja
ZI Pt Bouchet	TREFIL EST ex E.N.T.P.L.	Transformation de produit long (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	20	la chaux et eaux	O. Meboudja

		de Gaz industriel		usées	
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.3.3.2. Toxicité des métaux lourds

La toxicité des métaux lourds n'est plus à démontrer. La toxicité du mercure est par exemple connue depuis l'antiquité. La plupart du temps, les effets toxiques des métaux lourds concernent le système nerveux, le sang ou la moelle osseuse. Ils sont généralement cancérigènes.

Pour plus d'information de façon spécifique sur chaque métal et la solution de traitement, reportez vous au tableau ci-dessous:

Tableau 14 – Les métaux lourds et les solutions de traitement.

Les métaux lourds	Les solutions de traitement
<u>Arsenic - As</u>	<u>Coagulation</u> <u>Filtres à sable</u> <u>Filtration Charbon Actif</u> <u>Préchloration</u> <u>Electrodialyse</u> <u>Echangeurs d'ions</u> <u>Osiose inverse</u> <u>Hautes concentration</u>
<u>Mercure - Hg</u>	
<u>Plomb - Pb</u>	
<u>Zinc - Zn</u>	
<u>Vanadium - V</u>	
<u>Argent - Ag</u>	
<u>Nickel - Ni</u>	
<u>Chrome III - Cr III</u>	
<u>Chrome VI - Cr VI</u>	
<u>Cadmium - Cd</u>	
<u>Cobalt - Co</u>	

Tableau 15 – Quelques méthodes d'élimination des métaux lourds.

	<u>Mercure</u>	<u>Argent</u>	<u>Plomb</u>	<u>Cuivre</u>	<u>Zinc</u>	<u>Nickel</u>	<u>Chrome</u>	<u>Cadmium</u>	<u>Cobalt</u>	<u>Vanadium</u>
<u>Préchloration</u>	Améliore l'élimination de tous les métaux lourds									
<u>Coagulation</u>	*	***	***	***	**	**	-		-	*
<u>Filtres à sable</u>	***	***	***	***	***		-	***	-	
<u>Échangeurs d'ions</u>	**	**	***	**	**		***	***	**	**
<u>Charbon actif</u>	***	***	**	**	**	**	**	**	**	**

- : Pas d'effet / * : Peu d'effet / ** : Suffisant pour répondre aux normes en vigueur / *** : Excellent

Source : Degrémont Sixth Edition.

Dans le cas des métaux lourds, il existe déjà des références sur lesquelles on peut s'appuyer pour juger la situation dans notre région d'étude. Les concentrations dans les échantillons collectés dans des zones qui n'étaient pas sous influence de la source polluante étaient généralement inférieures à la valeur limite, celles observées dans les échantillons collectés à proximité de la source pouvaient atteindre, même dépasser ces valeurs.

Pour évaluer les Concentrations en éléments traces métalliques (ETM) dans les eaux de l'Oued Meboudja (représentées en 3 points) et sur 9 puits, répartis dans notre zone d'étude, On a essayé dans ce travail de suivre l'évolution temporelle des ions chimiques sur les années 1999, 2005,

2006, et (Janvier à Février 2007); où il s'agit de comparer les courbes d'évolution des teneurs en ETM, sont reportées ainsi que les précipitations ; sur les figures suivantes.

VI. Évolution temporelle

L'étude de la variation dans le temps des teneurs en fer, manganèse, cuivre, plomb, zinc, nickel, et chrome sous-tendue par les trois phénomènes suivants :

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

VI.1. Évolution du Fer (T)

La présence de fer dans l'eau peut avoir diverses origines : naturelle par le lessivage des terrains argileux, ou industrielle (métallurgiques, sidérurgiques). (Débieche, 2002)

Selon les profils de la concentration en fer en fonction de la période (1999 à 2007); nous constatons de faibles teneurs au niveau des eaux souterraines de la nappe superficielle qui restent globalement inférieures à la valeur limite des rejets il s'agit des points (2,6,10,29, 15,21,39) et l'amont de l'oued Meboudja représenté par (MO16), cependant ; notamment les points au niveau des eaux de l'Oued (MO 25 et MO 37) situés à l'aval, la contamination par le fer est très élevée dépassant de loin la valeur limite, elles sont respectivement de [15.6 mg/l en Sept. 2005 et 9.3 en Oct. 2006] , [26.3 mg/l en Août 1999]. Pendant ces périodes les niveaux de l'oued et de la nappe se stabilisent avec apparition d'un régime d'étiage. L'amplitude des teneurs en fer au niveau de l'oued est beaucoup plus marquée que celle de la nappe, les faibles teneurs en fer sont expliquées par la dilution par les pluies hivernales.

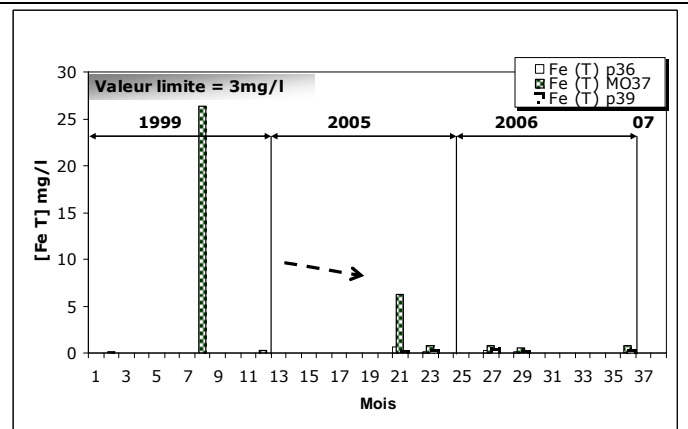
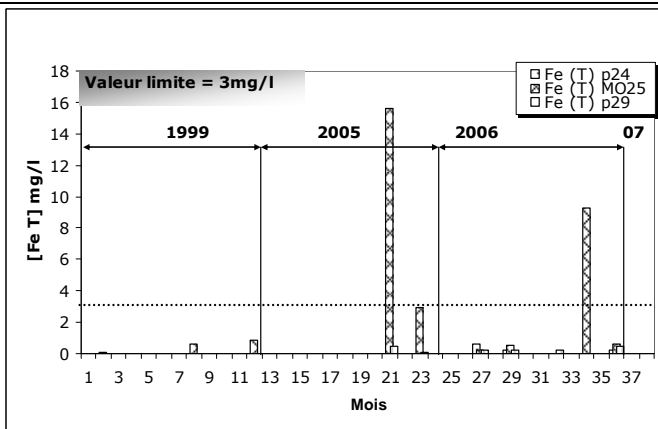
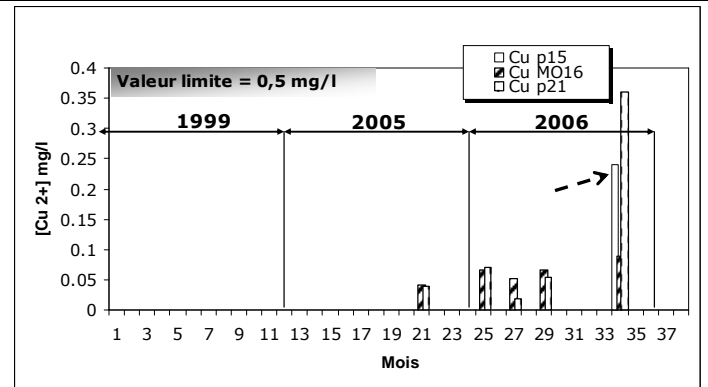
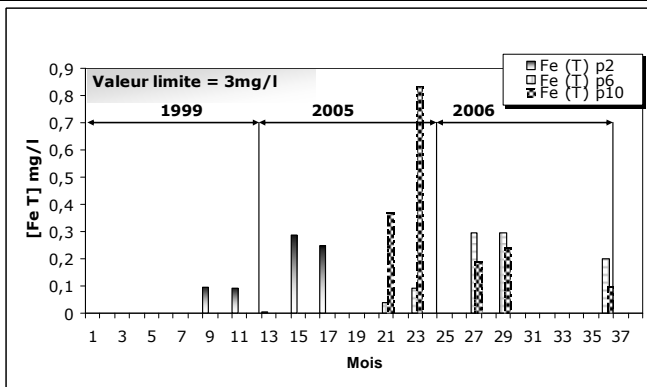
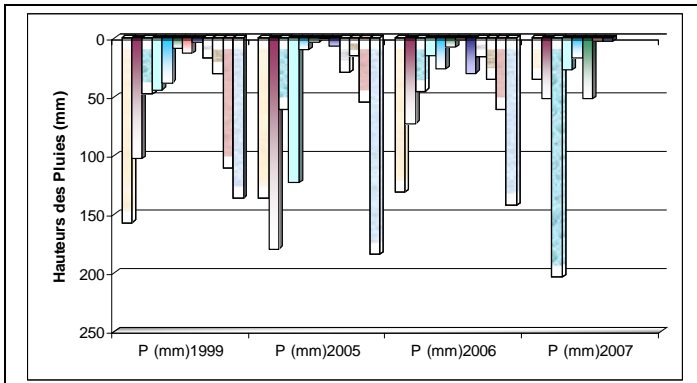


Figure 23 – Evolution temporelle du Fer (T).

VI.2. Évolution du Zinc :

Comparé à la valeur limite des rejets industriels qui est de 3mg/l, on constate qu'une seule valeur enregistrée au-delà de cette dernière c'était au niveau de la nappe superficielle [3.36 mg/l (en septembre 2005)] ; ceci est expliqué par la dissolution des matériaux qui constituent l'équipement du puits, mais au niveau des eaux de l'oued c'est l'effet des rejets industriels (galvanoplastie) où on observe des valeurs qui atteignent [2.89 mg/l] en zinc.

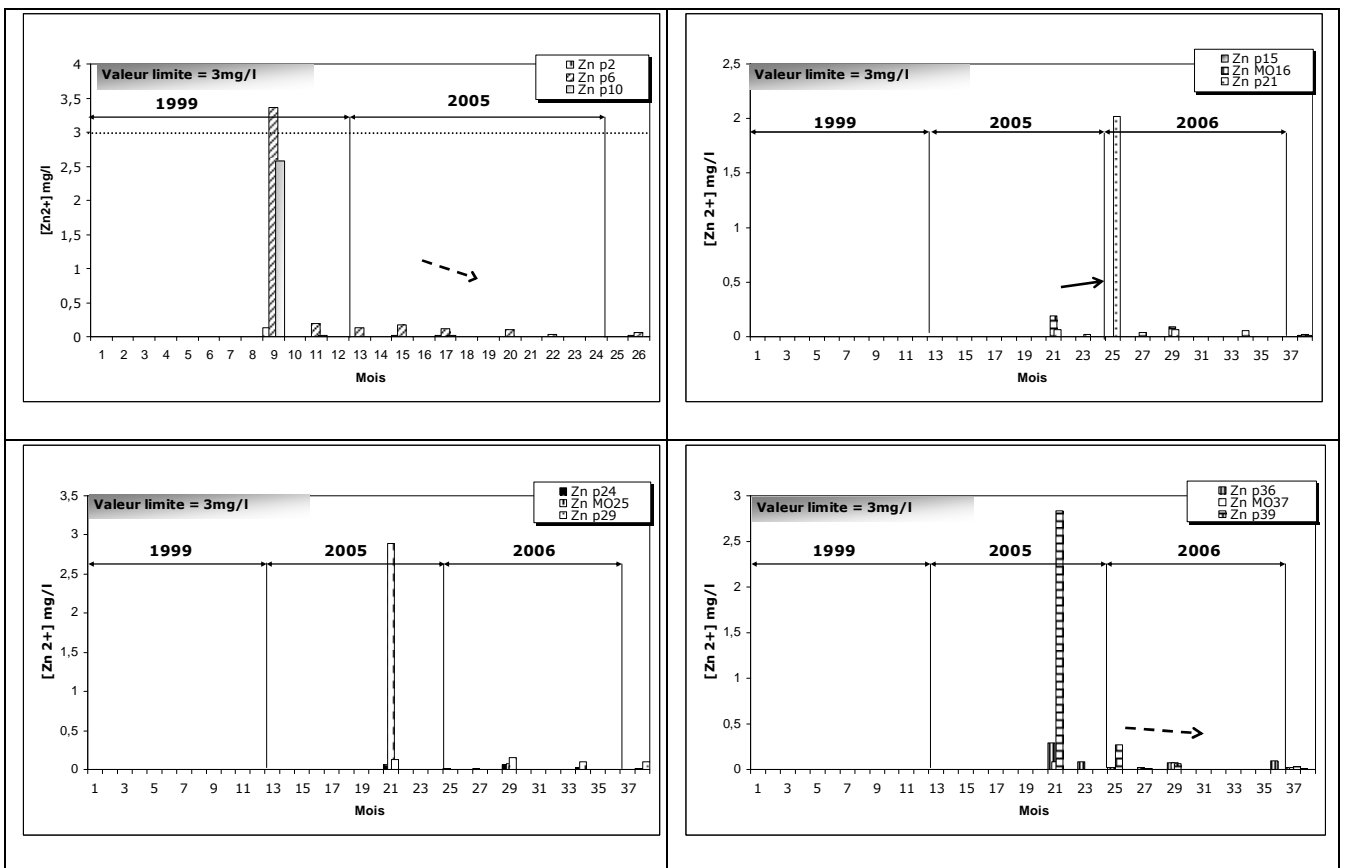


Figure 24 – Evolution temporelle du (Zn^{2+}).

VI.3. Évolution du Manganèse

Les concentrations en manganèse sont beaucoup plus élevées au niveau des eaux superficielles, et les profils montrent des valeurs égales [1.04mg/l (Août 1999), 1mg/l (Oct.2006)] ; ou supérieures à la valeur limite [3.4 mg/l (Août 1999)].

La présence du manganèse du point de vue industriel, est liée à la métallurgie, l'industrie électrique et l'industrie chimique, sa présence dans l'eau de l'oued est liée aux rejets de l'usine sidérurgique (Débieche, 2002).

En ce qui concerne les eaux souterraines, les fortes concentrations sont observées seulement au niveau du [p29 : 1mg/l (Décembre 2006)].

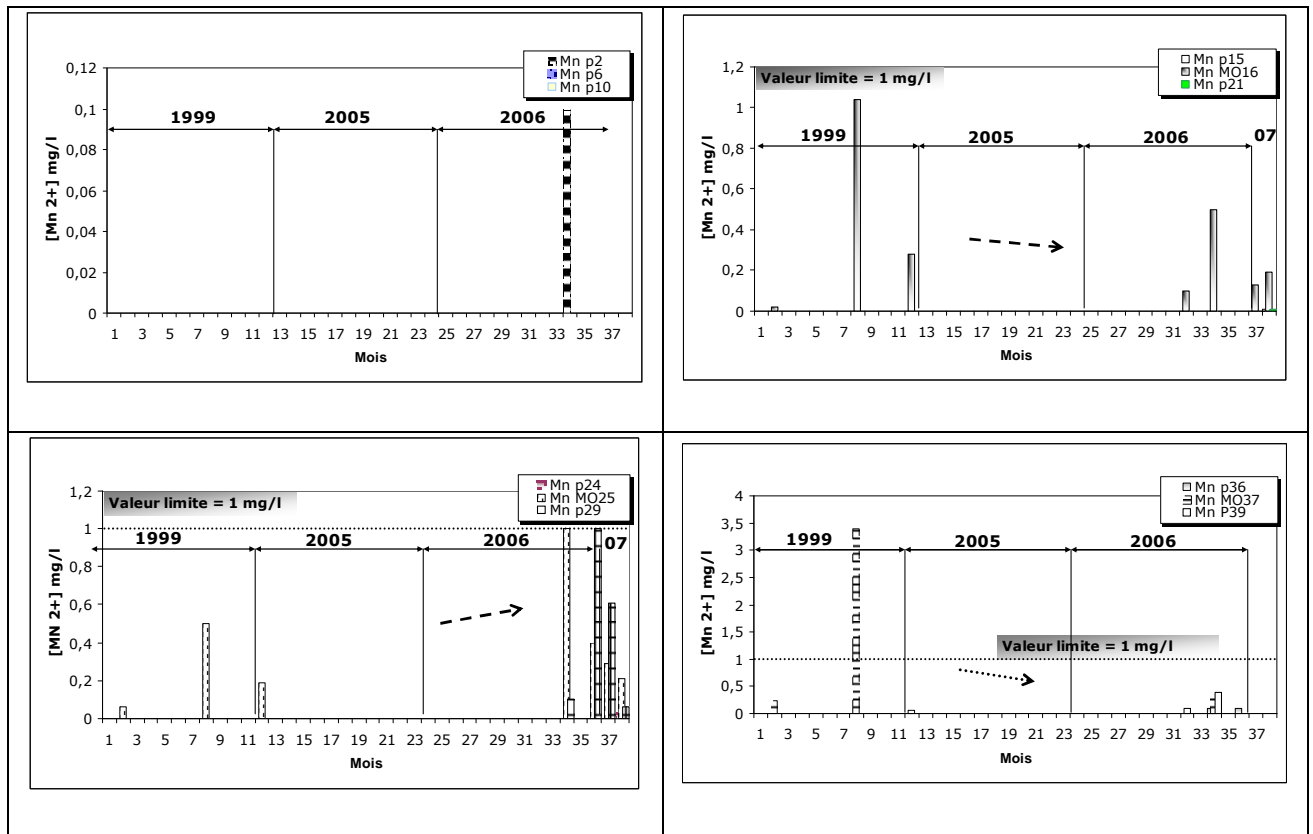


Figure 25 – Evolution temporelle du (Mn²⁺).

VI.4. Évolution du Chrome

Au niveau des eaux de surface, ainsi qu'au niveau des eaux souterraines ; les concentrations en chrome n'ont guère dépassées la valeur de 0.1 mg/l ; mais elles dépassent la norme de potabilité (0.05 mg/l) au niveau du p2 (0.10 mg/l) et du p10 (0.088 mg/l) en Novembre 2005.

Les concentrations maximales (0.083 mg/l, Novembre 2005), au niveau de l'oued Meboudja sont sûrement dues aux rejets de galvanoplastie (Louhi, 1996).

La période qui a marquée la présence du chrome dans la nappe, ainsi que dans l'oued s'étend de Août 2005 à Mai 2006. L'origine des teneurs dans la nappe superficielle, est les rejets industriels dans l'atmosphère de l'usine Arcelor-Mittal qui se précipitent sous l'effet des pluies (Khérici, 1993) sur la plaine.

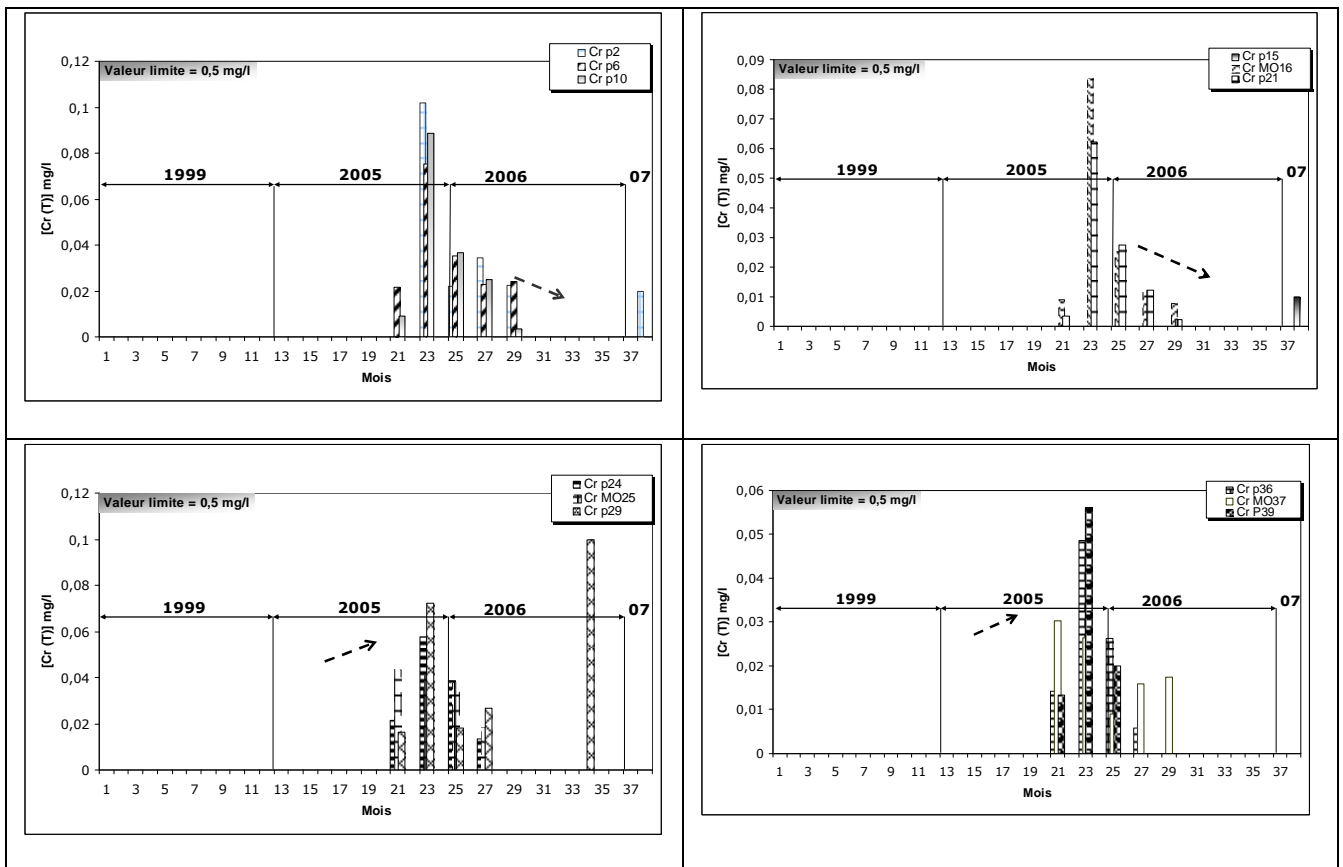


Figure 26 – Evolution temporelle du (Cr T).

VI.5. Évolution du Plomb

Le plomb est un métal mou qui a eu beaucoup d'application au fil des ans; c'est l'un des métaux les plus nocifs pour la santé.

Pour les autres teneurs en plomb ; on note une forte présence de cet élément au niveau des eaux de la nappe superficielle qui peuvent dépasser 0.5 mg/l, considérée comme valeur limite des rejets ; et atteindre [0.68 mg/l (Jan 2006) ; 0.60-0.69 mg/l (Mars 2006) ; Le point le plus intéressant concerne la station P-29. Située à el Karma à l'Est du complexe industriel et, on y observe les concentrations en plomb les plus élevées, soit 1.1mg/l (Jan 2007)], dépassant ainsi les normes de potabilités estimées à 0.05 mg/l.

Les eaux de l'oued connaissent des teneurs élevées pour la même période ; celle des basses eaux.

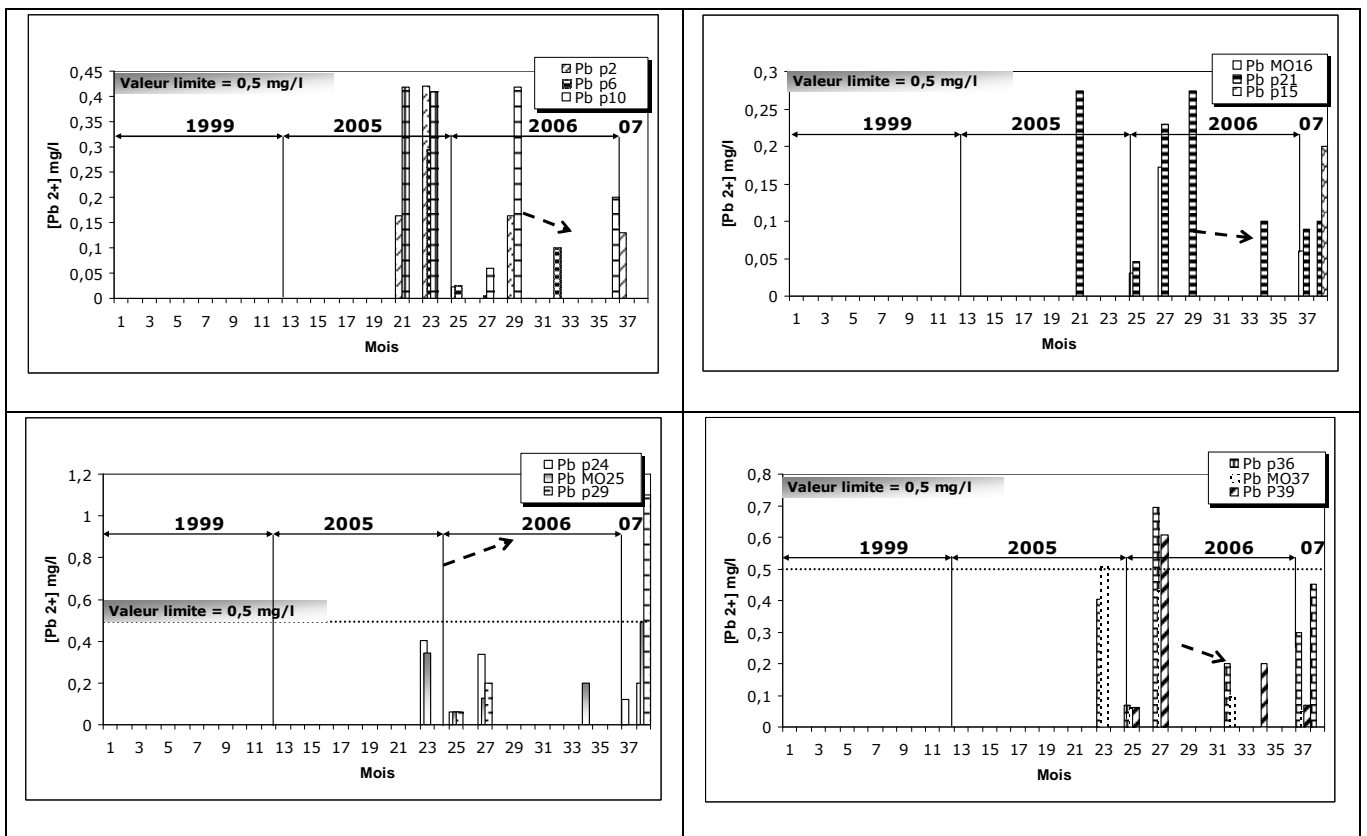


Figure 27 –Evolution temporelle du (Pb^{2+}).

VI.6. Évolution du Cuivre

La comparaison des teneurs en cuivre ; selon les profils ; en fonction de la période d'observation, nous laisse constater que toutes les valeurs, exemptée celle du Oued [0.52 mg/l (Oct. 2006)] sont inférieures à la valeur limite, ainsi que tous les points (eaux superficielles - de surfaces) ne dépassent pas la limite d'irrigation ou de potabilité qui est donnée par 1 mg/l.

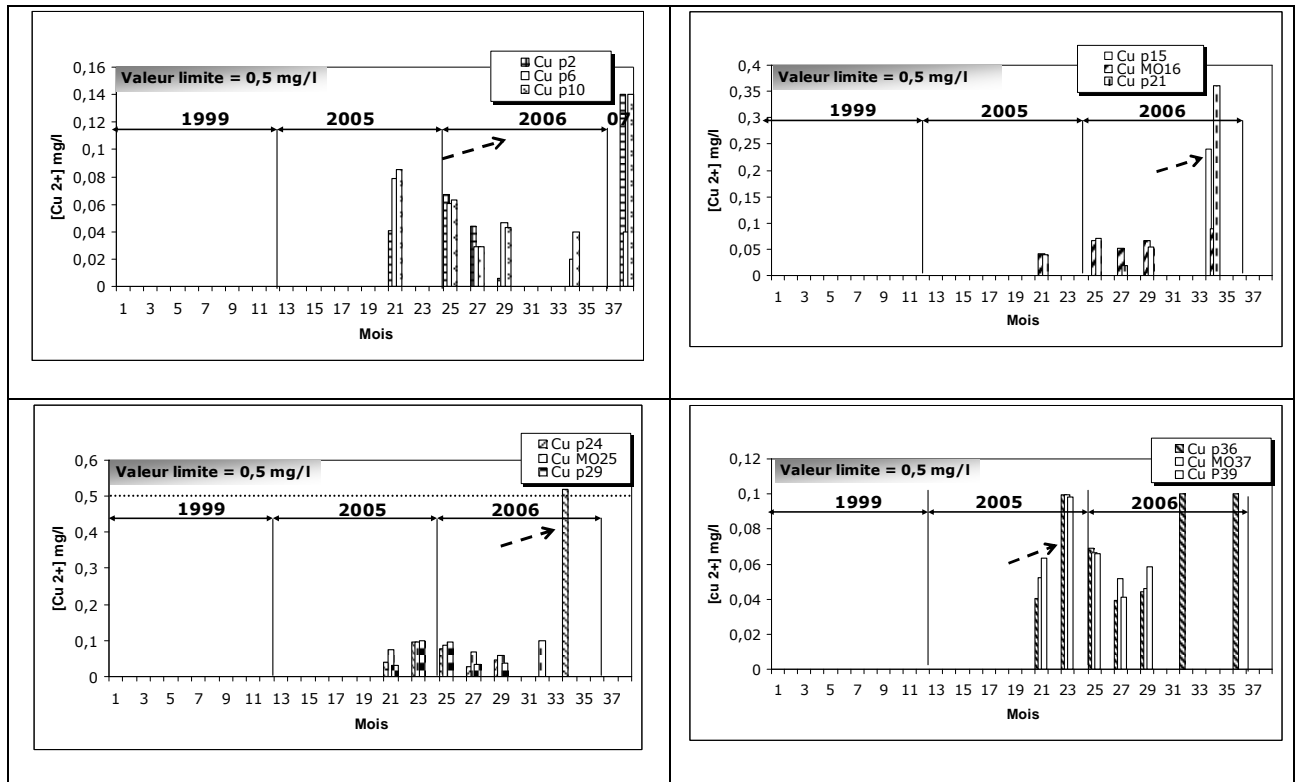


Figure 28 –Evolution temporelle du (Cu^{2+}).

VI.7. Évolution du Nickel

La période d'observation pour cet élément c'était pendant 1999 et (Août 2006 à Janvier 2007), son profil est caractérisé par une forte variabilité entre les valeurs anciennes et celles de la période récente, car les teneurs sont en augmentation dans le temps, mais elles restent au dessous de la valeur limite des rejets industriels qui est de 0.5 mg/l.

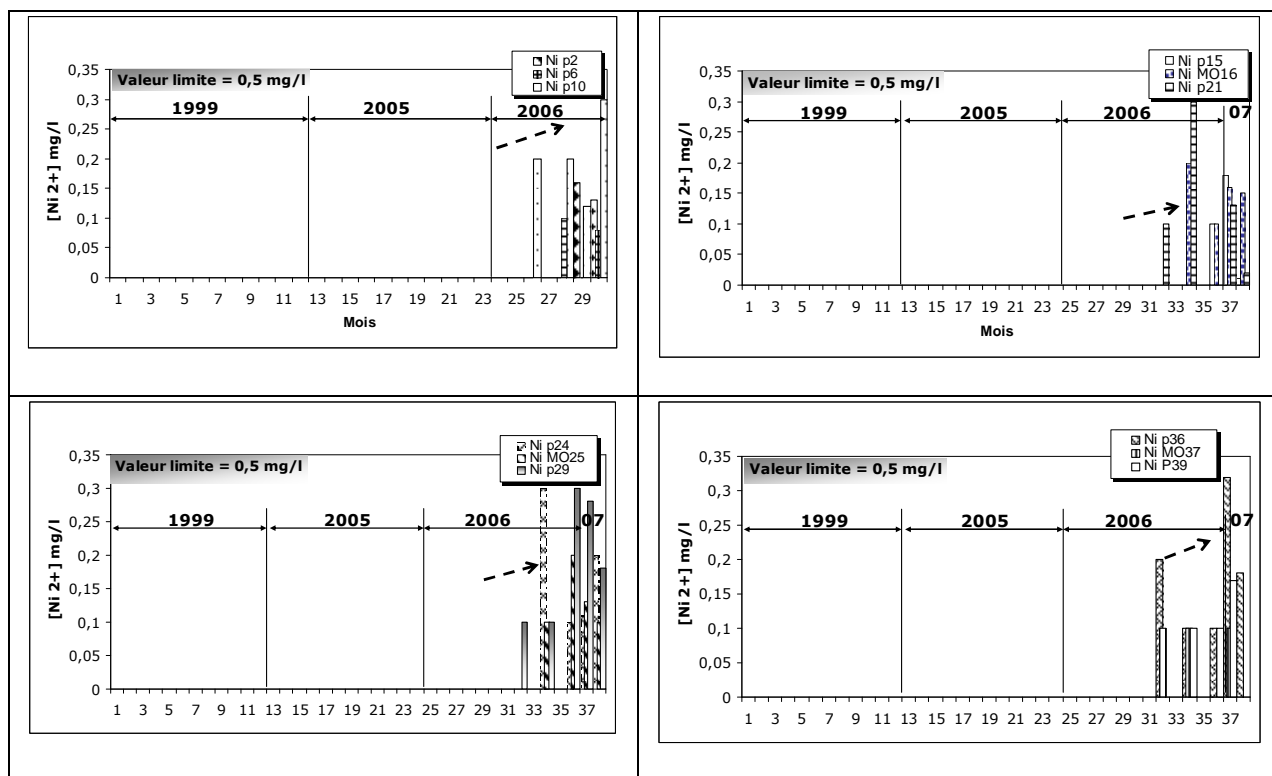


Figure 29 – Evolution temporelle du (Ni^{2+}).

La composition chimique d'une eau joue un rôle important dans la détermination de sa qualité, donc la possibilité de son utilisation pour l'alimentation en eau potable ou pour d'autres usages (irrigation, industrie ...)

Dans la zone d'étude (basse plaine de la Seybouse), la chimie des ressources en eau de surface et souterraine est souvent influencée par l'effet de la dissolution des formations géologiques, et par les rejets industriels (Débieche, 2002). Nous allons essayer, dans ce travail, d'une part de faire le point sur la qualité des eaux et d'autre part d'identifier l'impact des rejets industriels et des agglomérations limitrophes sur les eaux superficielles et souterraines. Nous essayerons également d'identifier les interactions entre l'oued et la nappe et leur rôle sur l'acquisition du contenu physico-chimique des eaux de la nappe.

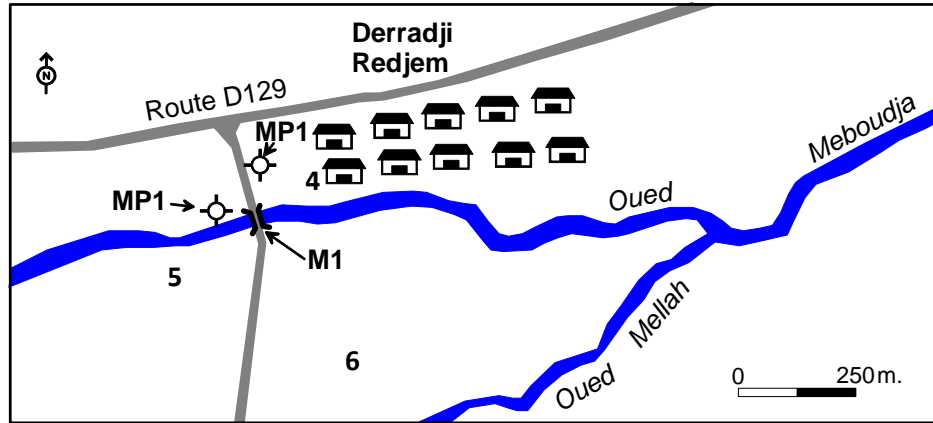


Figure 30 – Localisation des sites de prélèvement.

II. Caractérisation hydrogéologique

L'analyse de l'évolution piézométrique de la nappe liée étroitement aux fluctuations des précipitations et du niveau de l'oued Meboudja, constitue un préalable à l'étude de l'évolution des polluants (métaux lourds,..) et autres ions chimiques. Plusieurs périodes ont été distinguées (figure 31) :

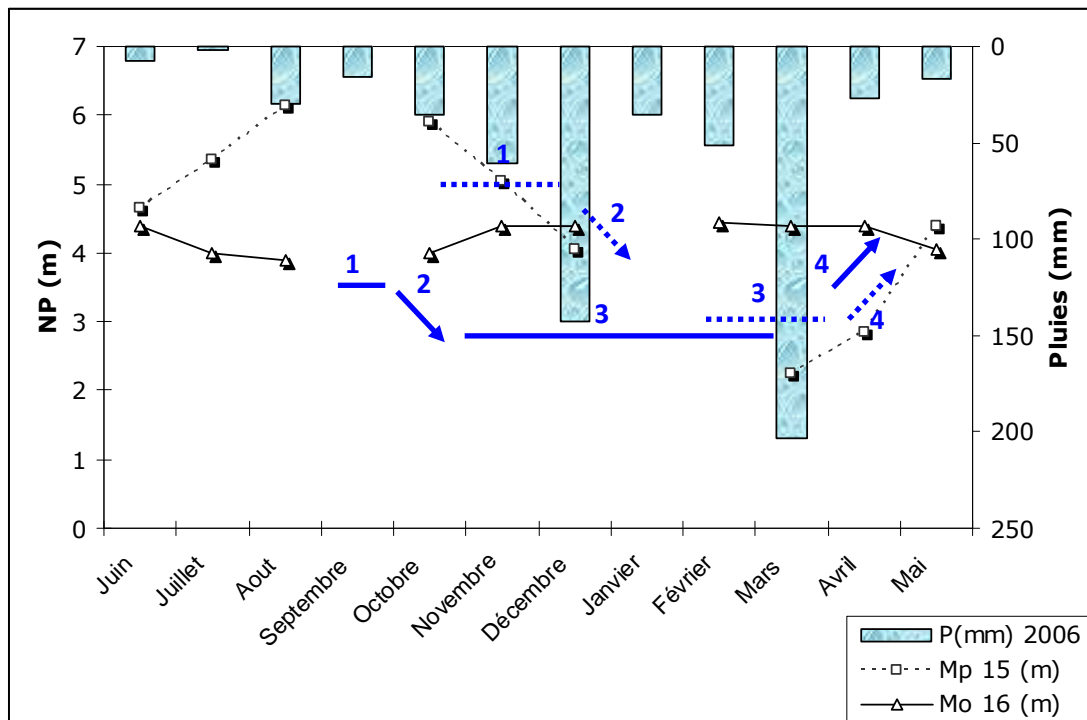


Figure 31 – Evolution des niveaux d'eau dans l'oued Meboudja (M016) et dans la nappe superficielle (MP15) en fonction des précipitations.

a) Période n°1 :

De Mai à Octobre les niveaux de l'oued et de la nappe se stabilisent avec apparition d'un régime d'étiage. L'amplitude de la baisse des niveaux de la nappe est beaucoup plus marquée que celle de l'oued.

b) Période n° 2 :

Les premières pluies du mois d'octobre entraînent une remontée beaucoup plus prononcée du niveau de l'oued, Cette situation entraîne un drainage du cours d'eau par la nappe.

c) Période n°3 :

Au mois d'avril la plaine d'El Hadjar est totalement rechargée par les pluies d'hiver. Durant cette période la nappe alimente l'oued.

d) Période n° 4 :

A partir de la fin du mois de mai la nappe amorce une baisse rapide de son niveau qui reste cependant supérieur à celui de l'oued dont les fluctuations sont tributaires des pluies.

III. Étude des teneurs en éléments toxiques

Evolution temporelle

Les évolutions des concentrations de ces ions chimiques ont été suivies de février 1999 à décembre 1999 et de janvier 2006 à décembre 2006 sur l'oued représenté par (MO 16 ou M1) et sur deux puits (Mp14 ou Mp2) ; et (Mp15 ou Mp1). Les graphes d'évolution des niveaux de l'oued et de la nappe ont été également reportés ainsi que les précipitations sur la (figure 32-33).

Nous constatons globalement une augmentation brutale des teneurs en fer, manganèse, Zinc et phosphate à partir du mois d'octobre consécutivement à une réalimentation de la nappe par l'oued et à un lessivage possible du sol.

Les teneurs évoluent inversement au niveau piézométrique. Elles sont faibles pendant les périodes des hautes eaux (février et décembre) en raison de la dilution par les eaux de pluie et fortes pendant les périodes des basses eaux (juillet et août) sous l'action de l'évapotranspiration qui concentre ces ions.

- Période n°1 :

Pendant la période des hautes eaux, les niveaux d'eau de la nappe et de l'oued sont élevés, suite aux fortes pluies du mois de janvier. L'écoulement est dirigé essentiellement de la nappe vers l'oued.

En 1999 :

Les eaux superficielles présentent de faibles teneurs en ammonium et en phosphate en raison de la dilution par l'infiltration des précipitations et de l'écoulement permanent de l'oued. Au niveau de la nappe, les teneurs en ammonium et en phosphate restent faibles. A l'opposé, les nitrates apparaissent avec des concentrations élevées de 34 à 83 mg.l⁻¹.

En 2006 :

Pour cette même période, on remarque que les eaux superficielles présentent ainsi qu'au niveau de l'oued, aussi de faibles teneurs en phosphate en raison de la dilution.

- **Période n°2 et n°3 :**

L'évolution pendant la période des basses eaux est caractérisée par une diminution du niveau d'eau dans l'oued et dans la nappe avec le même sens d'écoulement (nappe→oued) que précédemment.

En 1999 :

La chimie des eaux de l'oued présente une légère augmentation des teneurs en phosphate (1 et 7,4 mg.l⁻¹) et en ammonium (1,4 et 6 mg.l⁻¹), accompagnée par une augmentation du pH, des teneurs en nitrite, et en oxygène, pendant les mois de juillet et août, indiquant une oxydation de la forme ammonium.

L'apparition des conditions oxydantes dans l'eau induit le passage de la forme ammonium au nitrite, mais ce dernier n'atteint pas la forme des nitrates.

Au niveau de la nappe les teneurs en ammonium et en phosphate sont toujours faibles (0,1 à 0,3 mg.l⁻¹). Par contre les nitrates présentent une augmentation des teneurs, variant entre 60 et 110 mg.l⁻¹. Cette augmentation est liée au lessivage des terrains agricoles par les eaux d'irrigation.

En 2006 :

Les teneurs en phosphate sont plus fortes au niveau de l'oued avec 1.77 et 18.6 mg.l⁻¹. Ces teneurs en phosphate restent faibles au niveau de la nappe, est oscillent entre 0.12 et 0.25 mg.l⁻¹ en raison de la dilution ; accompagnée par une augmentation du pH.

- **Période n°4 :**

Le relèvement du niveau de l'oued au dessus de celui de la nappe à partir du mois d'octobre a conduit à l'inversement du sens d'écoulement, l'oued alimente la nappe. Cette situation a eu pour conséquence une stagnation des eaux dans l'oued, une augmentation des apports en phosphate et

en ammonium accompagnés par une augmentation de la turbidité de l'eau (due aux particules en suspension) sous l'effet de l'accumulation des rejets d'eaux usées.

En 1999 :

La chimie des eaux de l'oued se caractérise alors par une augmentation brutale de l'ammonium (28 à 54 mg.l⁻¹) et du phosphate (12,1 à 22,9 mg.l⁻¹) et une chute très significative des teneurs en oxygène (11,4 à 3,4 mg.l⁻¹), du pH (8,73 à 8,1) et en nitrite (1,716 à 0,132 mg.l⁻¹). Cette dernière peut s'expliquer par une augmentation de la population bactérienne, la consommation d'oxygène devient trop importante et son renouvellement n'est plus assuré par la photosynthèse ni par la diffusion de l'oxygène provenant de l'atmosphère dans l'eau (Debièche, 2002).

Ces changements des conditions physico-chimiques ont produit une détérioration de certains types de végétaux (Redfield, 1958 in Debièche, 2002) dans l'oued. La minéralisation de la matière organique des végétaux par les micro-organismes fait consommer l'oxygène et produire l'azote et le phosphate généralement sous la forme d'ions d'ammonium et d'orthophosphates, l'équation qui résume cette réaction est donnée ci-après :

Respiration



(Cette équation est basée sur la considération que la minéralisation de l'azote organique s'arrête aux sels ammoniacaux)

A partir de cette équation on constate que le phosphate et l'ammonium peuvent avoir une origine interne à la biomasse.

Cette évolution du contenu chimique des eaux de l'oued a entraîné un transit des eaux de l'oued vers la nappe et une contamination des deux puits par les ions phosphate, ammonium (au MP14 seulement), fer et manganèse qui montrent une hausse rapide des valeurs. L'importance des teneurs au niveau de puits MP14 par rapport au puits MP15 est due à l'effet du pompage au niveau du puits MP14 qui a créé un cône de dépression important et un appel des eaux superficielles vers le puits. A l'opposé, les nitrates (dans les deux puits) et les nitrites (au MP15) chutent brutalement.

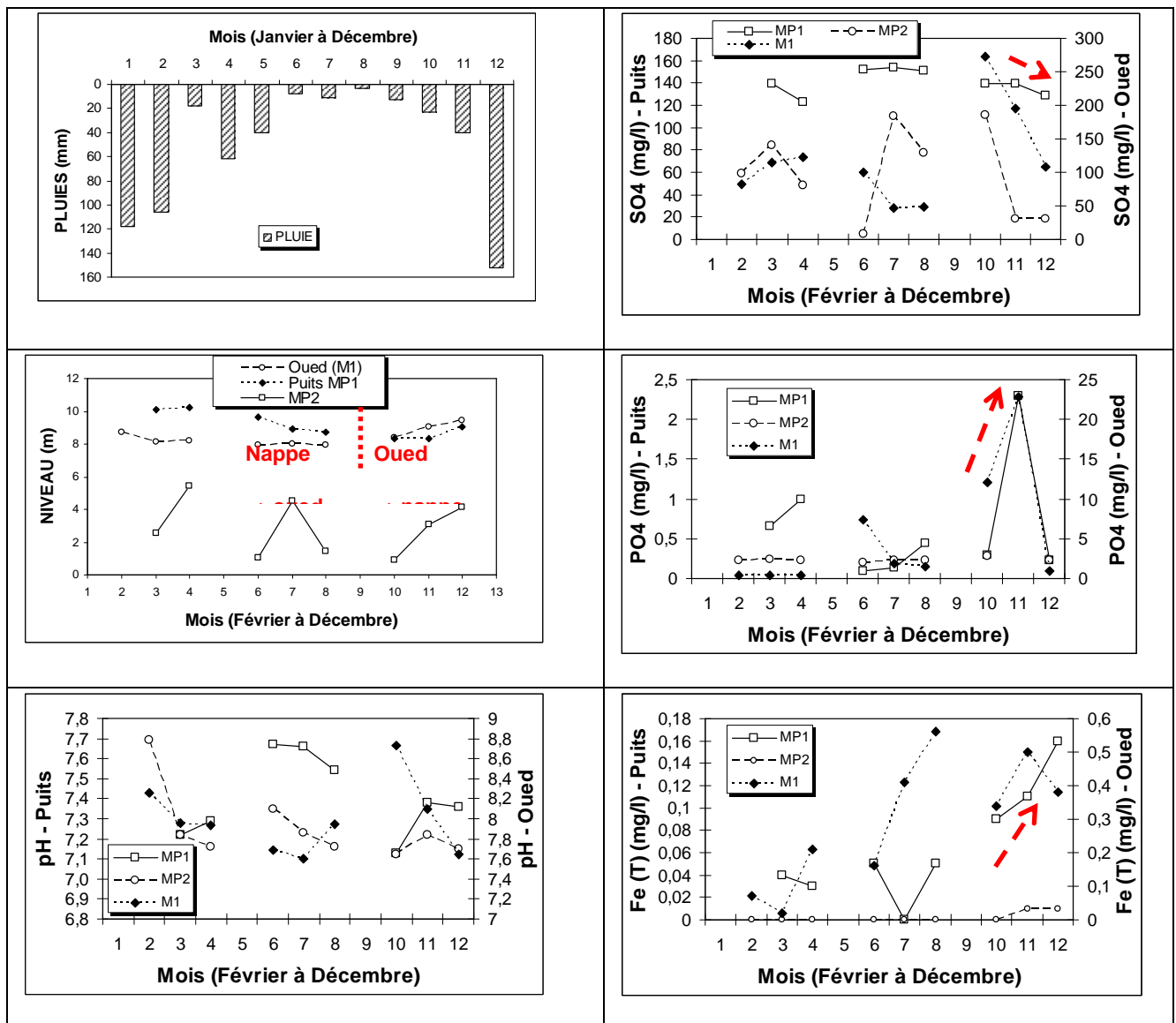
Enfin, les fortes précipitations du mois de décembre ont provoqué une forte dilution et une réoxygénation du milieu (oued), ce qui a entraîné une baisse des teneurs en phosphate (0,91 mg.l⁻¹) et en ammonium (2,85 mg.l⁻¹) et une légère apparition des nitrates (4,1 mg.l⁻¹). La même réaction

s'est produit au niveau de la plaine au mois de décembre, par une forte dilution des concentrations de l'ammonium (0 mg.l^{-1}), phosphate (0 mg.l^{-1}), nitrates (18 mg.l^{-1}).

En 2006 :

Les eaux de l'oued se caractérisent aussi par une augmentation brutale du phosphate ($1,77$ à $18,6 \text{ mg.l}^{-1}$) et des sulfates ($18,9$ à $61,54 \text{ mg.l}^{-1}$) et une chute très significative du pH ($8,28$ à $7,78$) et en nitrite.

La même constatation au niveau de l'Mp14, où le phénomène de contamination en fer et en manganèse persiste, par effet du pompage. Les teneurs en phosphate baissent jusqu'à disparition au mois de décembre.



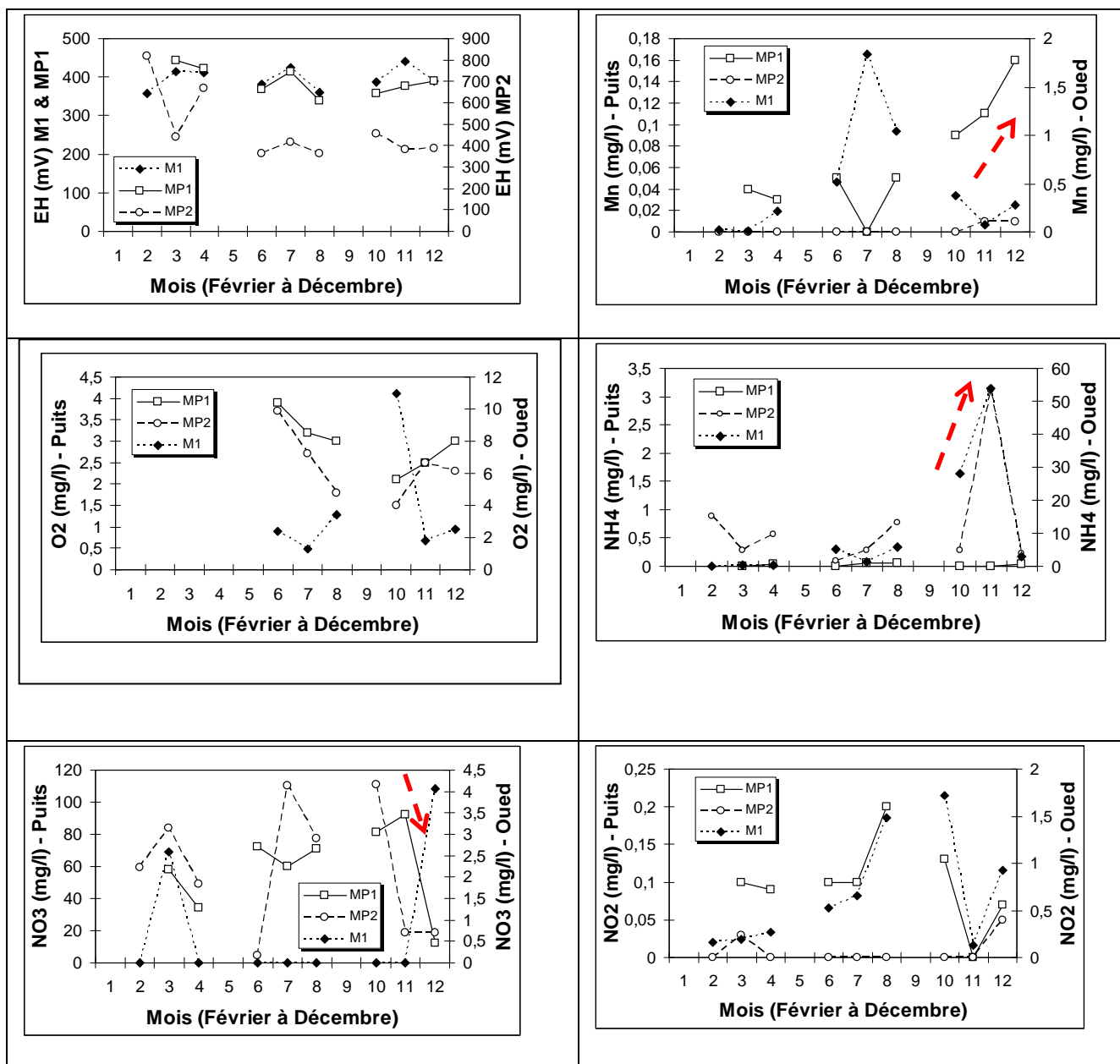
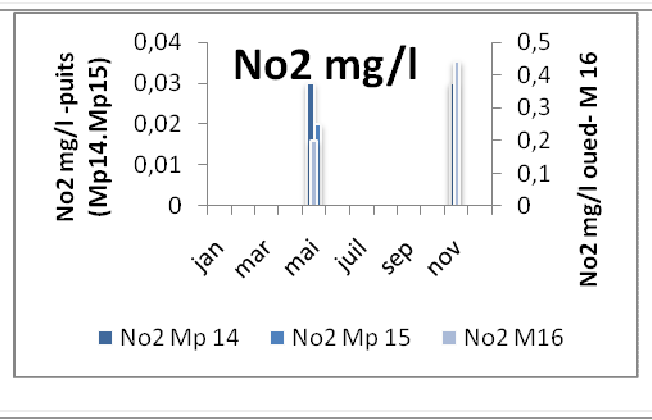
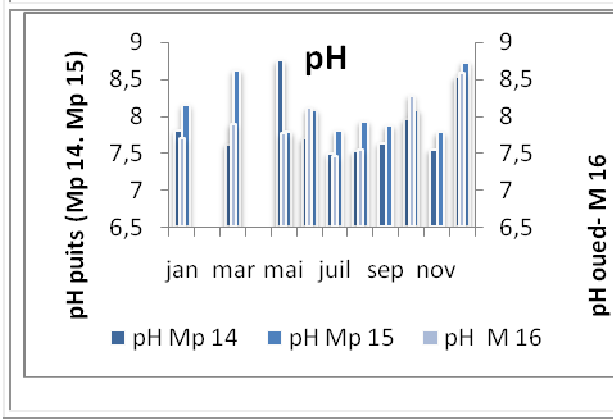
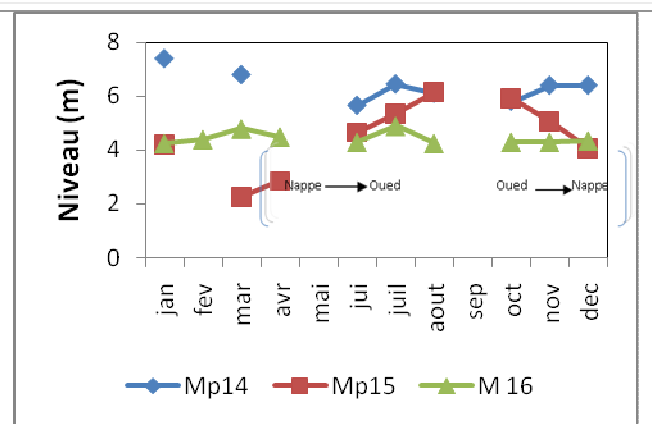
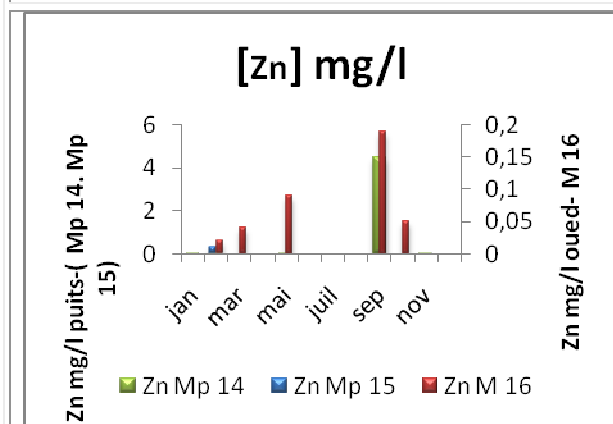
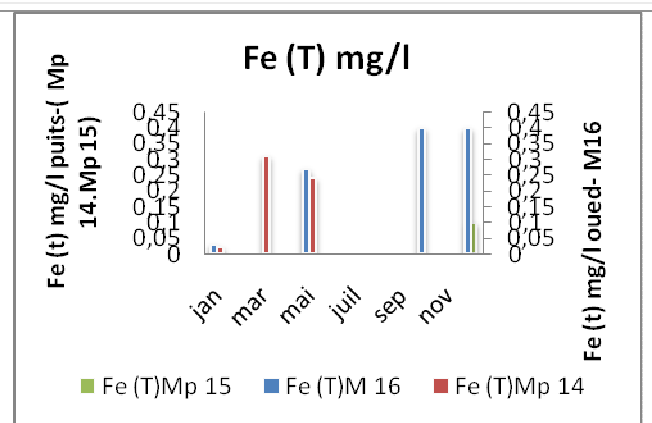
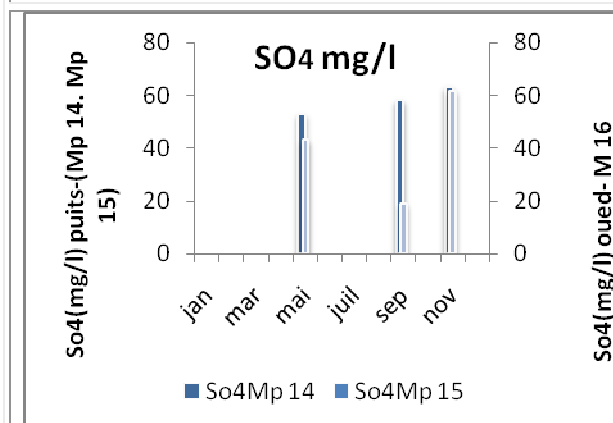
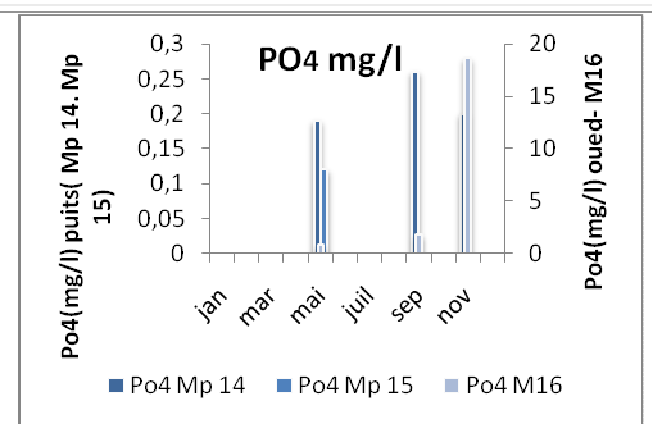
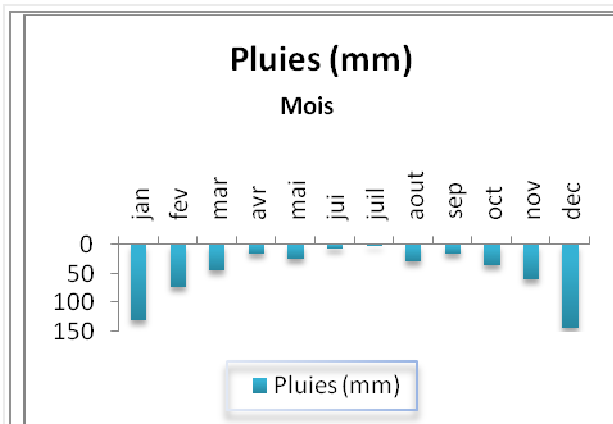


Figure 32 – Evolution des paramètres physico-chimiques dans les puits Mp14 (ou Mp2) et Mp15 (ou Mp1), situés à proximité de l’oued Meboudja M16(ou M1) en 1999.



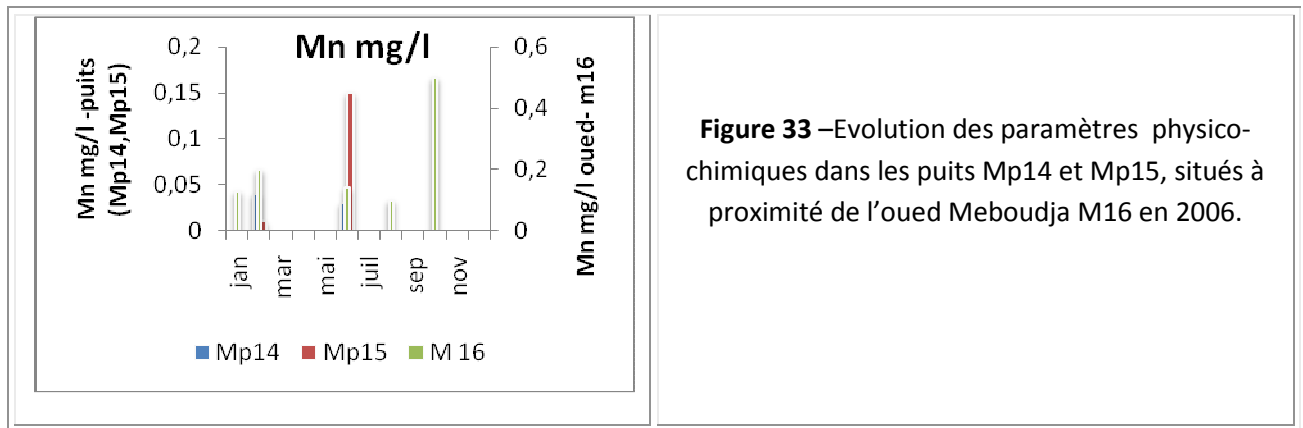


Figure 33 –Evolution des paramètres physico-chimiques dans les puits Mp14 et Mp15, situés à proximité de l'oued Meboudja M16 en 2006.

Nb :

La comparaison n'était pas sur tous les paramètres, par manque d'analyses.

VII. Conclusion

L'origine naturelle, industrielle ou urbaine du chimisme des eaux de surface et des eaux souterraines de la région d'étude est démontrée par l'étude hydrochimique, selon laquelle :

- La nappe superficielle affectée par plusieurs processus de la pollution :
 - naturelle due au lessivage des formations géologiques et traduite par la forte salinité
 - agricole marquée par la forte concentration en NO₂ 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 présentent dans la zone industrielle de Meboudja, la zone industrielle de Pont Bouchet et surtout le complexe sidérurgique Arcelor -Mittal.
 - urbaine marquée par la présence du PO₄ et NO₂ à des fortes concentrations.
- 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, PO₄, NO₂, MES...etc. (Hamzoui, 2007).

L'accroissement de la population et l'intense activité agricole et industrielle a engendré une forte pollution du milieu et des eaux, ce qui a conduit à une dégradation de l'environnement dans la région de Annaba.

Cette remarque tend à confirmer l'hypothèse selon laquelle la contamination de l'environnement du site de oued Meboudja n'est pas uniquement liée au dépôt, mais provient en grande partie de l'environnement industriel. Une hypothèse alternative ne doit cependant

pas être écartée. Elle consiste à prendre en considération le fait que l'oued se situe peut être, sur un dépôt fortement contaminé par les activités anciennes du complexe. Ce point serait à vérifier.

Chapitre II:

Chapitre II:

Mise en évidence de la relation oued/nappe

**Mise en évidence de la relation oued/nappe
à partir de la modélisation**

CHAPITRE II : MISE EN EVIDENCE DE LA RELATION OUED/NAPPE A PARTIR DE LA MODELISATION

I.1. Introduction

Le modèle mathématique (MODFLOW) a été utilisé pour rechercher les caractéristiques hydrauliques de l'aquifère alluvial de la plaine étudiée.

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 multicouche. L'objectif était de mettre en évidence d'éventuelle relation entre la répartition spatiale des polluants et les perméabilités. Le modèle mathématique utilise la méthode des différences finies selon un maillage carré à mailles régulières (McDonald et Harbaugh, 1988).

I.2. 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 .

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 grés numidiens.
- A l'Est, par les marécages de Mekrada.

La nappe profonde (NG) est limitée :

- Au Nord par la mer Méditerranéenne 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 NG 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.

I.3. Modélisation des écoulements souterrains

I.3.1. Bases théoriques

a. Processus d'écoulement

On admet généralement que le processus d'écoulement des eaux souterraines est gouverné par les relations issues de la loi de Darcy et du principe de conservation de masse. La loi de Darcy a cependant des limites d'application qui doivent être évaluées pour chaque utilisation.

La zone de sub-surface constitue un cadre hydrogéologique complexe, tri-dimensionnel et hétérogène. Cette variabilité influence fortement les écoulements souterrains et le transport, et une telle réalité ne peut être décrite avec précision qu'à travers une étude hydrogéologique rigoureuse sur le terrain. Cependant, qu'elle que soit le nombre de données collectées, il y aura toujours des incertitudes concernant les propriétés et limites du système aquifère étudié. Les approches stochastiques ont entraîné des progrès significatifs en ce qui concerne la caractérisation de l'hétérogénéité de la zone de sub-surface et les problèmes d'incertitudes (Gelhar 1993).

b. Equations de base

L'élaboration d'équations mathématiques décrivant les processus d'écoulement et de transport dans les eaux souterraines peut se faire à partir du principe fondamental de conservation de la masse de fluide ou de soluté. Etant donné un volume représentatif de milieux poreux, l'équation générale de conservation de masse pour ce volume peut être exprimée sous la forme :

$(\text{masse entrante}) - (\text{masse sortante}) + (\text{masse produite/consommée}) = (\text{masse accumulée})$	1
--	----------

Pour obtenir une équation différentielle décrivant l'écoulement ou le transport, ce bilan de conservation de masse (ou équation de continuité) peut être combiné avec une expression mathématique du processus correspondant (Bear 1979; Domenico et Schwartz 1998; Freeze et Cherry 1979).

b.1. Equations de l'hydrodynamique souterraine

Comme l'énonce la loi de Darcy, la quantité d'eau qui s'écoule à travers un milieu poreux dépend des propriétés de l'eau et de celles du milieu poreux, ainsi que du gradient de charge hydraulique, ce qui peut être formulé de la manière suivante:

$q_i = -K_{ij} \frac{\partial h}{\partial x_j}$	2
---	----------

où q_i est le débit unitaire, LT^{-1} ; K_{ij} est la conductivité hydraulique (perméabilité) du milieu poreux (un tenseur de second ordre), LT^{-1} ; et h est la charge hydraulique.

On peut obtenir une forme générale de l'équation qui décrit l'écoulement en régime transitoire d'un fluide compressible dans un aquifère non homogène, anisotrope, en combinant la loi de Darcy et l'équation de continuité. Une équation générale de l'hydrodynamique souterraine peut s'écrire en notation tenseur Cartésien de la manière suivante:

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \left(K_{ij} \frac{\partial h}{\partial x_j} \right) = S_s \frac{\partial h}{\partial t} + W^* \quad \mathbf{3}$$

où S_s est l'emmagasinement spécifique, L^{-1} ; t le temps, T ; W^* est le flux volumétrique par unité de volume (positif pour les écoulements sortant et négatif pour les écoulements entrant), T^{-1} ; et x_i sont les coordonnées Cartésiennes, L . La convention additive relative à l'analyse par tenseur Cartésien est sous-entendue dans les équations 2 et 3. L'équation 3 peut généralement être appliquée si: les conditions isothermes dominant, le milieu poreux se déforme uniquement verticalement, les volumes des grains constitutifs restent constants pendant la déformation, la loi de Darcy s'applique (et si le gradient hydraulique constitue la seule force motrice), et les propriétés du fluide (densité et viscosité) sont homogènes et constantes. Les propriétés aquifères peuvent varier dans l'espace, et les contraintes sur le fluide (W^*) peuvent varier dans l'espace et le temps.

Si l'aquifère est relativement peu épais par rapport à son extension latérale, il est préférable de considérer que l'écoulement souterrain se fait sur un plan, à deux dimensions. Ceci permet de réduire l'équation de l'hydrodynamique souterraine tri-dimensionnelle à un écoulement plan bi-dimensionnel, plusieurs autres simplifications sont alors possibles. La réduction du nombre de dimensions présente l'avantage d'un besoin moins strict de données, de capacité de mémoires informatiques plus réduites, et d'un temps d'exécution relativement court pour obtenir les solutions numériques.

Une expression similaire à l'équation 3 peut être obtenue pour l'écoulement en deux dimensions d'un fluide homogène dans un aquifère captif, et écrite sous la forme:

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \left(T_{ij} \frac{\partial h}{\partial x_j} \right) = S \frac{\partial h}{\partial t} + W \quad \mathbf{4}$$

où T_{ij} est la transmissivité, $L T^{-1}$; et $T_{ij} = K_{ij} \cdot b$; b est l'épaisseur mouillée de l'aquifère, L ; S est le coefficient d'emmagasinement (sans dimension); et $W = W^* b$ est le flux volumique par unité de surface, $L T^{-1}$.

Quand l'équation 4 est appliquée à un système aquifère libre (nappe), on suppose que le flux est horizontal et que les équipotentielles sont verticales, que le gradient hydraulique horizontal est égal à la pente de la nappe, et que le coefficient d'emmagasinement est égal à la capacité d'égouttement (S_y) (Anderson et Woessner, 1992). Notons que dans un aquifère libre, l'épaisseur mouillée varie suivant les variations de la hauteur de la nappe (ou charge). Par conséquent, la transmissivité peut aussi changer dans l'espace et le temps (i.e. $T_{ij} = K_{ij} \cdot b$; $b(x,y,t) = h - h_b$, et h_b est l'altitude du mur de l'aquifère).

Dans certains cas, les propriétés du fluide telles que la densité et la viscosité peuvent considérablement varier dans l'espace ou le temps. Cela peut avoir lieu dans des zones où la température ou la concentration de matière dissoute varient fortement. Quand les propriétés de l'eau sont hétérogènes et (ou) variables, les relations entre les niveaux aquifères, les charges hydrauliques, les pressions de fluides, et les vitesses d'écoulement ne sont ni simples ni franches. Dans ces cas là, l'équation de l'hydrodynamique souterraine est établie et résolue en terme de pressions de fluides, de densité de fluide et de perméabilité intrinsèque du milieu poreux (Konikow et Grove, 1977).

b.2. Vitesse d'écoulement

La migration et le mélange de composés chimiques dissous dans les eaux souterraines dépendent de la vitesse d'écoulement de l'eau. Le débit spécifique calculé à partir de l'Eq. 2 est parfois appelé vitesse de Darcy. Cependant, cette nomenclature peut être trompeuse car en fait q_i ne représente pas la vitesse de déplacement de l'eau, q_i est un flux volumétrique par unité de surface de la section traversée. Ainsi, pour calculer la vitesse réelle d'écoulement de l'eau souterraine, on doit prendre en compte la surface réelle de la section à travers laquelle l'eau s'écoule, de la façon suivante:

$V_i = \frac{q_i}{\varepsilon} = -\frac{K_{ij}}{\varepsilon} \frac{\partial h}{\partial x_j}$	5
---	----------

où V_i est la vitesse d'écoulement (aussi communément appelée vitesse moyenne linéaire ou vitesse moyenne interstitielle), $L T^{-1}$; et ε est la porosité efficace du milieu poreux.

I.3.2. Simulation des écoulements dans la plaine de l'oued Meboudja

Le domaine retenu, couvrant une superficie de 42.56 km², est repéré dans le système Lambert par :

	X	Y
Min.	942.2	392.2
Max.	955.2	406.0

Il correspond à la fosse de Ben-Ahmed, est discrétisé horizontalement en 2250 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. Les limites du domaine discrétisé sont comprises entre les deux oueds (Meboudja et Seybouse).

a. 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. Pour le code numérique d'écoulement, il est nécessaire d'introduire les caractéristiques géométriques de chacun des trois horizons.

L'introduction des valeurs de perméabilité de chaque couche est également indispensable. En effet, ce dernier intervenant 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 Δx : 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 et captive 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) 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 entrant 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, Δh : la perte de charge entre mailles voisines, Δx : 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.

b. 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.

c. Ajustement des valeurs de perméabilité et du coefficient d'emmagasinement

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 1m entre les côtes piézométriques mesurées et simulées (figures 34, 35, 36). On obtient ainsi une carte de répartition des valeurs de la perméabilité qui peuvent se traduire pour la nappe superficielle, qui constitue l'objet de ce mémoire, par une zonalité des perméabilités allant de 10^{-2} à $7,1.10^{-6}$ m²/s (figure 36).

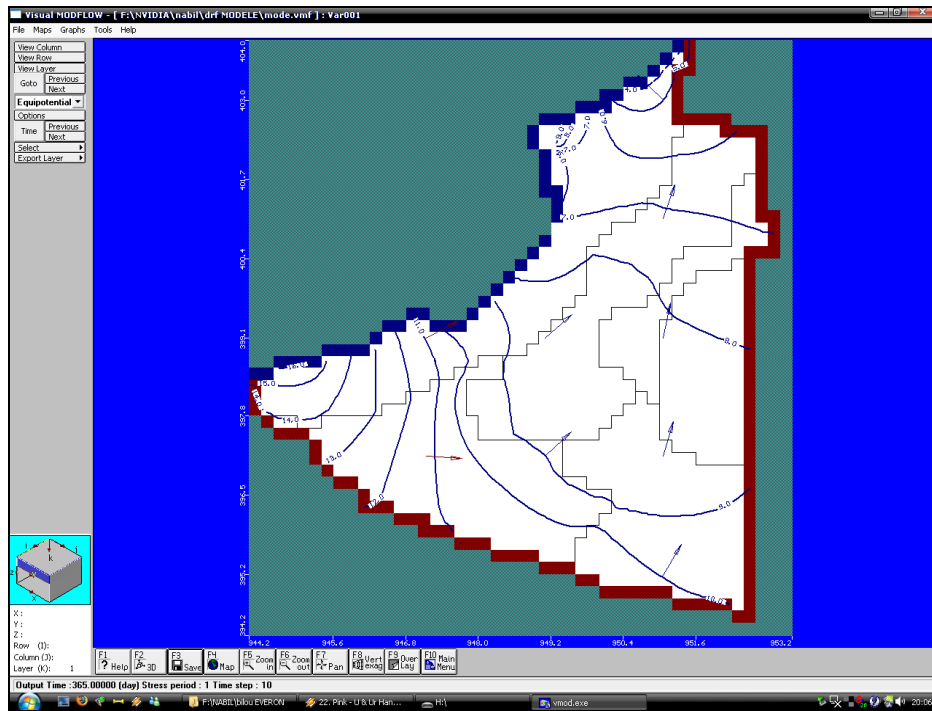


Figure 34 – Carte piézométrique de la nappe superficielle simulée par le modèle.

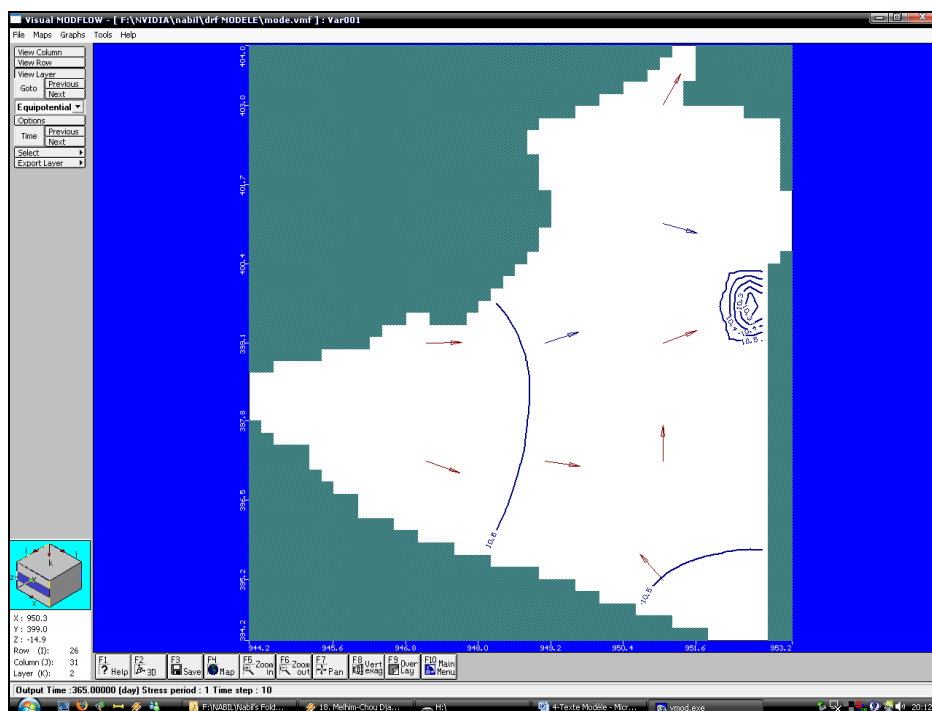


Figure 35 – Carte piézométrique de la couche semi-perméable simulée par le modèle.

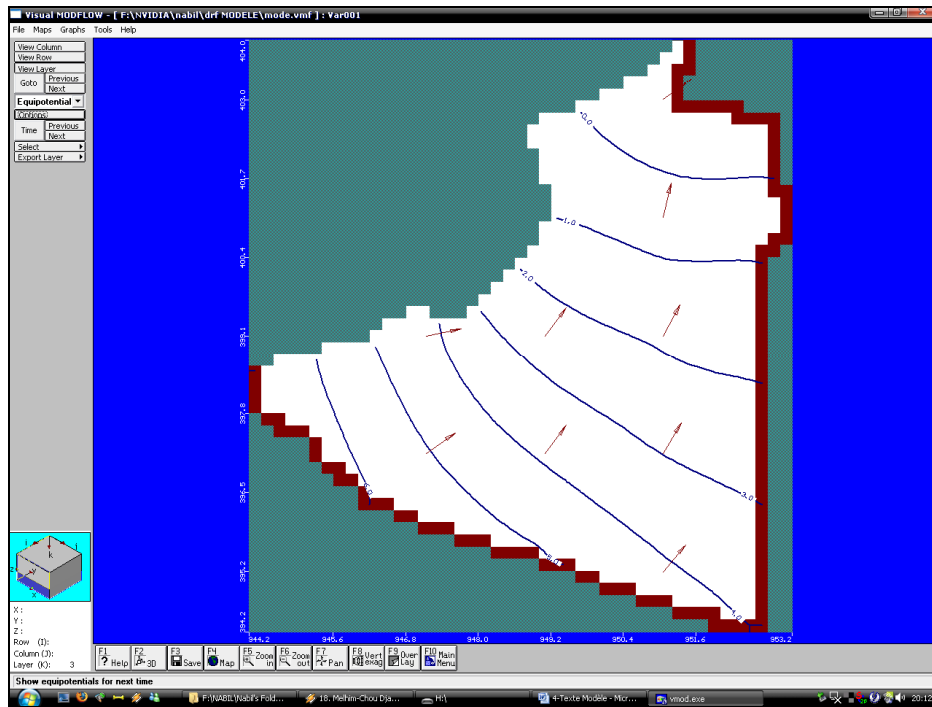


Figure 36 – Carte piézométrique de la nappe des graviers simulée par le modèle.

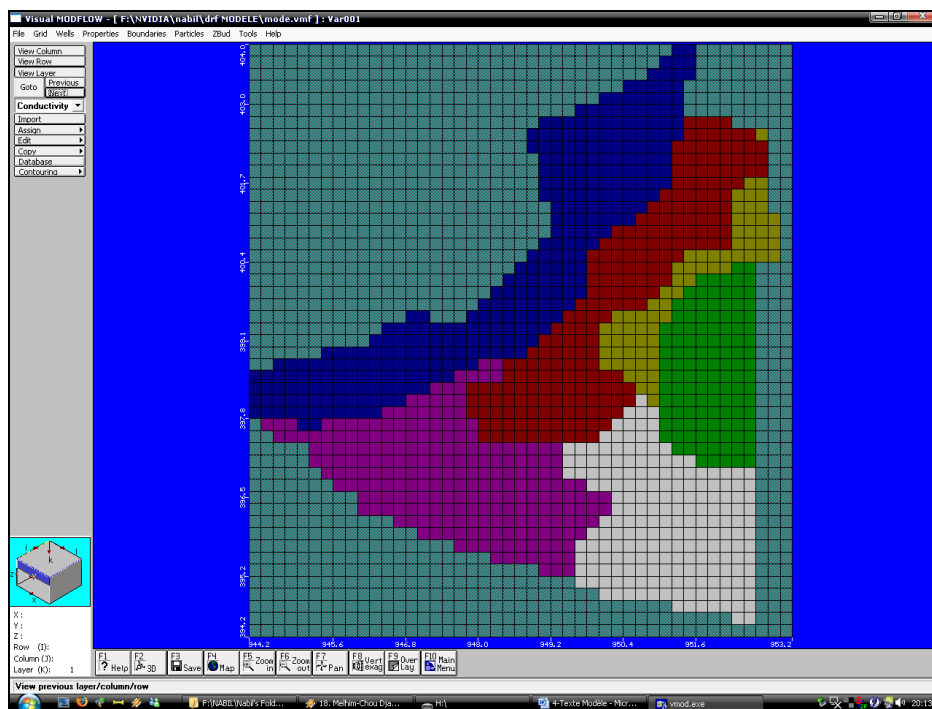
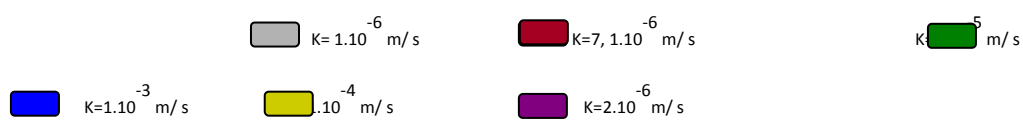


Figure 37 – Carte des perméabilités simulées de la nappe superficielle par le modèle.

Légende:



d. 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. Nous remarquerons que les secteurs à faibles valeurs de perméabilité correspondent globalement aux zones à fortes teneurs en fer, manganèse, phosphate et à faibles valeurs du E_H . Nous citerons comme exemple les secteurs situés juste au Nord de la butte de Daroussa.

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.

II. Conclusion

L'étude de la variation dans le temps en fer, manganèse, phosphate, ammonium 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.

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, manganèse, phosphate, ammonium et probablement d'autres éléments. En effet, il semble que les secteurs de fortes concentrations en ces ions chimiques 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.

Conclusions générales et Recommandations
Conclusions générales et Recommandations

CONCLUSIONS GÉNÉRALES ET RECOMMANDATIONS

A l'issue de notre étude, et à partir des déterminations détaillées des résultats menés sur le site étudié, ce travail d'impact est réalisé ; par le suivi des informations acquises des résultats de travaux antérieurs, qui portent sur des évolutions (temporelles et spatiales).

Située essentiellement au Nord de l'Atlas Tellien, sur le versant Sud de l'Edough, la région d'étude, fait partie de la ville de Annaba, se caractérise par un relief plat à pentes très faibles.

Cette région est souvent menacée par la dégradation de la qualité de ces eaux issues de l'accroissement des populations et l'intense activité agricole et industrielle.

Ce présent travail comporte :

- Une introduction générale rappelant notamment les raisons ayant conduit à mener ces investigations ; une description du site, comprenant entre autres les conditions générales locales, voire que le sous-sol de la région renferme trois horizons ; la nappe superficielle et profonde (cependant ; les communications entre les deux aquifères ne peuvent cependant être exclues). Ces deux aquifères sont séparés par un niveau semi-perméable.

- Drainée par deux oueds : la Seybouse et la Méboudja, Les rejets de l'usine sidérurgique (Arcelor-Métal) atteignent l'Oued Méboudja grâce à l'apport des eaux par le biais du lac Fetzara qui assurent l'écoulement et atteignent l'Oued Seybouse dont l'embouchure se trouve vers la Mer Méditerranéenne.

- On peut dire que la région d'étude est parmi les régions les plus pluvieuses en Algérie. La plaine de Annaba est soumise à un climat méditerranéen caractérisé par deux saisons d'inégale durée, avec :
 - Des précipitations dominantes (109.6mm en Décembre), et des températures annuelles moyennes sont de l'ordre de 17.7°C (Salines). L'évapotranspiration réelle annuelle est de 467.76mm à la station des Salines et de 442.62mm à la station de Pont Bouchet.

- La localisation et l'identification des sources de pollution reconnues, celles des cibles prises en considération notamment la contamination des eaux de surface, et de la nappe superficielle par les métaux lourds, qui sont présents en quantité plus ou moins importante ont fait l'objet de la partie hydrochimique.

⇒ **Eaux de la nappe superficielle :**

- Le manganèse ne dépasse pas la valeur limite des rejets, excepté au puits [p29 : 1mg/l (Décembre. 2006)] ou elle dépasse les normes prescrites par l'O.M.S (0.3 mg/l).
- Les nitrites sont répartis d'une manière inégale dans toute la région d'El-Hadjar où les teneurs sont très faibles (avec 0,03mg/l)
- Le fer total est présent dans toute la zone d'étude avec de faibles teneurs (0.84 mg/l au puits p10) dépassant les normes qui sont de 0,3 mg/l préconisées par l'O.M.S.

⇒ **Eaux de surface:**

- Le manganèse est présent en trois endroits MO16 [1.04mg/l (Août 1999), MO 25 1mg/l (Oct.2006)] ; ou supérieure à la valeur limite MO 37 [3.4 mg/l (Août 1999)], et provient des rejets urbains et surtout industriels.
- Les nitrites sont présents dans toute la zone d'étude dépassant les normes (0,1 mg/l) avec des valeurs fortes : 0,45 mg/l au point de prélèvement MO16.
- Le fer total est présent à l'amont de l'oued Méboudja avec une teneur de 0,4 mg/l (rejets) et à la confluence des oueds Seybouse et Méboudja dépassant les normes (0,2 mg/l).

Les résultats des analyses de ces éléments montrent la présence d'ions métalliques dépassant souvent les normes admises par l'O.M.S. Tous ces éléments ont principalement une origine anthropiques de type agricole (utilisation des engrais azotés), urbaines (eaux usées rejetées dans les oueds) et industriels (rejets sans traitement).

☛ L'utilisation d'un modèle mathématique, nous a permis et à partir des perméabilités, de distinguer les zones qui favorisent l'introduction des polluants, ces dernières coïncident avec les conditions réductrices.

Mesure de la pollution : pourquoi et comment ?

Le problème posé par la distribution de l'eau est sans conteste l'un des plus graves auquel se heurte le complexe sidérurgique d'El-Hadjar.

Une connaissance exacte de la production polluante s'avère indispensable pour :

- 1)- Apprécier les apports au milieu naturel et, corrélativement,
- 2)- établir une relation plus étroite entre les rejets et la qualité du milieu naturel ;

- 3)- déterminer, dans le cadre réglementaire de l'autocontrôle, les caractéristiques de la pollution émise et vérifier si les valeurs limites de rejet, exprimées en flux ou charges de pollution* et en concentration, sont en conformité avec les exigences imposées par la législation ;
- 4)-Les ateliers grands consommateurs d'eau à l'intérieur de ce complexe doivent être équipés de circuits fermés permettant ainsi d'économiser d'importantes quantités d'eau.
- 5)- Porter un jugement sur l'efficacité et la fiabilité d'une installation de traitement dans le cadre de la mise en œuvre des dispositions de surveillance prévues par la réglementation ;
- 6)- Optimiser et fiabiliser le fonctionnement des ouvrages d'épuration afin d'améliorer leur gestion et leur entretien.

Pour atteindre ces objectifs, la mesure et l'évaluation quantitative de la pollution nécessitent obligatoirement :

- Le prélèvement d'un échantillon représentatif de l'eau soumise à l'analyse ;
- La mesure des débits horaires et/ou journaliers dans de bonnes conditions ;
- enfin, la détermination de la concentration du/ou des polluants présents dans l'eau considérée, ce qui implique le choix du/ou des paramètres représentatifs de la pollution.

***Nota** : la charge de pollution exprime la quantité journalière du rejet d'un polluant X.

C'est le produit, exprime en kg/j, du débit journalier (en m³/j) par la concentration du polluant X (en g/m³) dans le rejet.

Malgré toutes les difficultés que nous avons rencontré durant la réalisation de ce mémoire surtout au niveau des laboratoires d'analyses d'une part, et la collecte des informations d'une autre part.

Ce travail nous a apporté beaucoup de profits, car soucieux du problème que pose l'alimentation en eau, et de la pollution des eaux souterraines et celle de l'oued, nous devons aujourd'hui, affronter tous ces problèmes par l'installation ou la programmation des stations de recyclage d'eau pour réduire leurs prélèvements en eau et lutter contre la pollution des eaux industrielles et résiduaire par des techniques d'épuration biologique malgré leurs limites d'efficacité.

Références bibliographiques
Références bibliographiques

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES:

Abiven R., 1986. Etude hydrochimique du fer et du manganèse dans l'aquifère alluvial d'Avignon (Vaucluse). Th. Doct., Univ. Avignon, 133 p.

Aoudjehane M., 1991. Distribution des gites à Pb-Zn et fer sidéritique dans le NE algérien. In: *Pagel and Leroy (editors). Source, Transport and Deposition of Metals. Balkema, Rotterdam, pp. 419-422.*

Bell F.G. 1998. Environnemental géologie. Principles and practice. Blackwell Science, pp.384-387.

Brahic A., Hoffer M., Schaaf A., et Tardy M., 1999. Sciences de la Terre et de l'Univers. Vuibert, 634 p. pp. 173-187.

Brown SL., Chaney RL., Lloyd CA., Angle JS., Ryan JA., 1996. *Relative uptake of cadmium by garden vegetables and fruits grown on long term biosolid-amended soils. Environ. Sci. Technol.*

Castany G., 1998. Hydrogéologie Principes et méthodes, DUNDOD, Paris.

Champ D. R., Gulens, J., Jackson R. E. 1979. Oxydation-reduction sequences in grand water flow systems. *J. Earth Sci.*, 16, pp.12-23.

Chauve P., Mania J., Mignot C., Recoules A., Rémy F., Truche C. 1986. Paramètres physicochimiques, lithologiques et hydrologiques influençant l'évolution dans le temps des teneurs en fer et manganèse ; critique des résultats obtenus sur des champs expérimentaux de la plaine alluviale de la Saône (Franche-Comté).

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).

Cornet A., et coll. 1951-1952. Carte géologique de l'Algérie au 1/500 00, Alger. Service de la carte géologique.

CREDES 1998. Etude d'Impact sur l'Environnement. RAPPORT FINAL, 74 p.

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.

Description technique de l'usine sidérurgique d'Annaba 1968.

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.

Edmunds W. M., Darling, W. G., Kiimniburgh, D. G., Dever, L., Vachier, P., 1992. Chalk groundwater in England and France: hydrogeochemistry and water quality. *British Geological.*

Garrels R. M., Christ, C. L., 1967. Equilibre des minéraux et de leur solution aqueuse, Gauthier-Villars Editeur, 335 p.

Garrels R.M. et Christ, C.L., 1965. Solutions, minerals and equilibria, Harper, 450 p.

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.

Gigliotti G., Businelli, D., Giusquiani PL., 1996. Trace metals uptake and distribution in corn plants grown on a 6-year urban waste compost amended soil. *Agric. Ecosystems Environ.*, pp.199-206.

Hammar 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.

Hamzaoui W., 2007. Caractérisation de la pollution des eaux en milieu industriel et urbain. Cas de la plaine d'El-Hadjar

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.

Helgeson H.C., 1969. Thermodynamics of hydrothermal systems at elevated temperatures and pressures, *Am. J. Sci.*, 267p.

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

Hiscock K. M., Lloyd J. W., Ierner D. N., 1991. Review of natural and artificial denitrification of groundwater. *Wat. Res.*

Hooda P.S., Alloway B.J., 1996. The effect of liming on heavy metal concentrations in wheat, carrots and spinach grown on previously sludge-applied soils. *J. agric. Sci.*, pp.289-294.

ISGA/ANNABA 2004. Identification des caractéristiques géologiques et hydrogéologiques du bassin versant englobant le crassier externe de l'usine ISPAT Annaba. 35 p.

Joleaud L., 1936. Etude géologique de la région de Bône et de la Calle. Bull. Serv. Carte Géol. de l'Algérie. 2^e 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.

Mania J., Chauve P., Remy F., Verjus P. 1989. Evolution of iron and manganese concentration in presence of carbonates and clays in the alluvial ground waters of the Ognon (Franche-Comté, France), *Geoderma*, 44, pp.219 – 227.

Mariotti A., 1994. Dénitrification *in situ* dans les eaux souterraines, processus naturels ou provoqués. *Hydrogéologie*, pp.43-68.

Marsily G., 1981. Hydrogéologie quantitative, Masson.

Mason B., Moore C. B., 1982. Principles of geochemistry. New York, John Wiley & Sons, 344p.

Nafa K., 1985. Nappes superposées en région côtière : hydrodynamique et hydrochimie de l'aquifère de Annaba, Nord Est Algérien. Th. Doct. Univ. Montpellier, 159 p.

Norambar inc. Contrecoeur (Québec) 2004. Étude d'impact sur l'environnement déposée au ministre de l'Environnement. Projet de dépôt définitif de poussières d'aciérage. RAPPORT PRINCIPAL, 161 p.

O.M.S. 2004. Guidelines for drinking-water quality, Vol. 1, Recommendations, 3rd Ed., World Health Organization, Geneva.

Office National pour l'Environnement 2005. Audit environnemental. GUIDE GENERAL. Direction de l'Evaluation Environnementale/ONE. 79 p.

Plummer L.N., Jones B.F., and Truesdell A.H., 1976. (Revised 1978, 1984). WATEQF, a FORTRAN IV version of WATEQ, a computer program for calculating chemical equilibria of natural waters. U.S. Geological Survey Water Resources Investigations pp76-13.

Rapport technique et économique sur l'extension de l'usine sidérurgique d'El-Hadjar.

Recoules A., 1984. Evolution des teneurs en fer et en manganèse dans la nappe alluviale de la Saône aux environs de Gray (Hte Saône). Th. Doct. Univ. Franche-Comté, 153 p.

Robertson W. D., Russell B. M., Cherry J. A. 1996. Attenuation of nitrate in aquitard sediments of southern Ontario. *J. Hydrol.*, pp.267-281.

Rodier J., 1996. L'analyse de l'eau: Eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer, Ed. Dunod, 8^{ème} Edition, Paris, 1383p.Saône (Franche-Comté). *J. Hydrol.* pp.367-390, Elsevier, Amsterdam.

Verjus Ph. 1984. Etude hydrogéologique et hydrochimique de la dynamique du fer et du manganèse dans les eaux souterraines : Application à la nappe alluviale de l'Ognon (Franche-Comté) et modélisation en laboratoire. Th. Doct. Univ. Franche-Comté, 174 p.

Vila J. M., 1980. La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins algéro-tunisiens, Th. Doct. sci. 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.

Annexes

Annexes

~~TECHNIQUES D'ANALYSES~~

1. Mesure du pH.

1.1 OBJET :

La mesure du pH s'effectue sur les prélèvements d'eau.

MOYENS TECHNIQUES :

Le pH est mesuré à l'aide d'un pH-mètre, vérifié et étalonné avec au moins deux solutions étalons (7 et 10 ou 7 et 4 suivant la gamme de mesure à réaliser).

Gamme	0,00 à 14,00 unités pH. Température : -10 à 125°C
Résolution	0,01 unité pH
Précision	± 0,01 pH. Température : ± 0,4°C
Compensation de température	Automatique ou manuelle

. MODE OPERATOIRE :

Avant la mesure

Vérifier que le pH-mètre est connecté au réseau électrique ou que ses batteries sont en état de fonctionnement.

Rincer cette dernière à l'eau déminéralisée avant toute mesure.

Mesure :

Plonger la sonde dans le milieu à analyser.

Remuer avec soin et légèrement la sonde et attendre que la lecture se stabilise.

Relever les deux lectures : pH et température.

Généralement, la mesure s'effectue à 20°C.

Il est recommandé de refroidir ou réchauffer le prélèvement vers 20°C avant de mesurer le pH.

Entretien :

Après utilisation, rincer les sondes à l'eau déminéralisée. La sonde pH est rincée puis plongée dans la solution de stockage contenue dans une capsule. Il est recommandé de changer régulièrement cette solution.

2. MESURE DU TH.

2.1 Mode opératoire laboratoire :

Prélever 50 ml d'eau à analyser dans une fiole de 50 ml. Les verser dans un erlenmeyer adapté puis ajouter 20 gouttes de solution tampon K10 (solution NH_4^+ / NH_3) permettant la complexation totale des ions calcium et magnésium à $\text{pH} = 10$.

En cas de perturbation (cas des eaux riches en cuivre et/ou fer dissous), ajouter une ½ jauge d'ascorbate de sodium et une ½ jauge de cyanure de potassium. Ajouter 6 à 8 gouttes d'Indicateur Net :

- si la solution est bleue : **TH = 0**. L'eau est adoucie ou non dure.
- si la solution est violette : doser le mélange par la liqueur hydrotimétrique (solution d'EDTA N/25). Ajouter jusqu'au virage du violet au bleu :

soit $V(\text{ml})$ volume de coulée d'où : **TH = V (ml) x 4 °F**

Le TA et le TAC se mesurent après détermination du pH de l'eau, sur une prise d'échantillon de 50 ml.

2.2 MESURE DU TA :

Dans un erlenmeyer contenant 50 ml de l'échantillon, ajouter 2 gouttes de phénophtaléine.

- Si le $\text{pH} < 8,3$, la solution ne se colore pas en rose : le TA est = 0
- Si le $\text{pH} > 8,3$, la solution est rose : le TA est déterminé par addition de liqueur alcalimétrique (solution d'acide sulfurique N/25), V (ml), nécessaire au virage de la phénophtaléine

D'où : **TA = V (ml) x 4°F**

2.3 MESURE DU TAC :

Elle succède à celle du TA sur le même échantillon.

Si le TA est non nul, ne pas réajuster la burette de liqueur alcalimétrique à zéro.

Dans l'échantillon précédent, ajouter 3 gouttes d'hélianthine.

- Si le $\text{pH} < 4,3$, la solution est immédiatement rouge ou orangée
TAC = TA
- Si le $\text{pH} > 4,3$, la solution est jaune : le TAC est déterminé de la même manière que le TA

D'où : **TAC = V(ml) X 4°F**

avec $V(\text{ml})$ volume total de titrant versé

3. DOSAGE DES CHLORURES.

3.1 OBJET :

Le dosage des chlorures s'effectue sur des échantillons d'eau, après détermination du TA et du TAC.

3.2 MODES OPERATOIRES :

Méthode

Sur un échantillon d'eau de 50 ml, ajouter 5 gouttes de chromate de potassium : le mélange se colore en jaune.

La solution est dosée par une solution de nitrate d'argent N/25 : le nitrate d'argent précipite les chlorures alcalins et alcalino-terreux sous forme de chlorure d'argent.

La fin de la réaction est repérée par l'apparition de la teinte rouge brique du chromate d'argent.

D'où : Chlorures = V (ml) x 4 °F

V (ml) volume versé de solution de nitrate d'argent N/25.

3.3 UTILISATION ET PREPARATION DES REACTIFS :

Pour la préparation des réactifs, n'utiliser que de l'eau déminéralisée (conductivité inférieure ou égale à 2 µS/cm). Les matières premières doivent être de qualité analytique.

- Nitrate d'argent N/25
- Chromate de potassium à 100 g/l

3. MESURE DE LA CONDUCTIVITE :

4.1 OBJET :

La conductivité est liée à la présence d'ions en solution. Elle augmente avec la température et la concentration en sels dissous.

La conductivité des eaux s'exprime en microsiemens par centimètre (µS/cm), à 25°C.

4.2 MODE OPERATOIRE :

L'analyse s'effectue sur un prélèvement d'eau dont le volume doit être suffisant pour plonger la sonde de conductivité.

Allumer l'instrument en poussant le bouton ON/OFF. Lorsque l'afficheur indique zéro, l'instrument est prêt pour la mesure de conductivité.

Plonger la sonde dans la solution à mesurer et sélectionner la gamme de mesure en appuyant sur l'un des quatre boutons correspondants. Au cas où il n'apparaîtrait qu'un «1» en haut et à

gauche de l'affichage sans visualisation de la lecture à droite, cela signifierait condition de dépassement (hors échelle) : il faudrait alors sélectionner l'échelle supérieure.

- 1er cas : Effectuer la mesure de la conductivité à la température relevée ou ramener le prélèvement d'eau à la température souhaitée.
- 2ème cas : Compensation de température, un capteur de température sert à compenser la dépendance température / conductivité.

Il suffit d'environ 5 minutes pour que le capteur atteigne l'équilibre thermique avec la solution au cas où la température de la sonde serait totalement différente de celle de la solution.

Aussi, avant d'effectuer toute mesure, faut-il attendre que la stabilisation thermique soit réalisée.

Taper légèrement la sonde sur le fond du bêcher et l'agiter afin de vérifier que des bulles d'air ne se soient pas formées à l'intérieur.

La mesure terminée, éteindre l'instrument et, si nécessaire, nettoyer la sonde.

Après chaque série de mesures, rincer l'électrode à l'eau déminéralisée

Reporter la valeur de la conductivité sur le bulletin d'analyse.

Remarque :

Certaines sondes doivent être plongées dans le milieu sans immersion de l'orifice supérieur, d'autres avec immersion : se reporter au mode d'emploi du constructeur.

Normes françaises pour la qualité de l'eau potable - Décret n° 89-3 du 3 janvier 1989 modifié.

Composés toxiques	Concentration Maximum	Rejets industriels
Mercure	1 µg/l	-
Argent	10 µg/l	-
Plomb	50 µg/l	0.5 mg/l si rejet > 5 g/j
Nickel	50 µg/l	0.5 mg/l si rejet > 5 g/j
Cuivre	50 µg/l	0.5 mg/l si rejet > 5 g/j
Zinc	5 mg/l	2 mg/l si rejet > 20 g/j
Chrome total	50 µg/l	0.5 mg/l si rejet > 5 g/j 0.1 mg/l si rejet > 1 g/j (Cr VI)
Cobalt	-	-
Vanadium	-	-
Arsenic	50 µg/l	-