

# **IMPACT DES REJETS URBAINS ET INDUSTRIELS SUR L'EAU SUPERFICIELLE ET SOUTERRAINE DANS LA PLAINE D'ANNABA (ALGERIE)**

## **IMPACT OF URBAN AND INDUSTRIAL WASTES ON SUPERFICIAL AND GROUNDWATER IN THE PLAIN OF ANNABA (ALGERIA)**

**N. BOUGHERIRA<sup>\*</sup>, B. AOUN-SEBAITI<sup>\*\*</sup>**

<sup>\*</sup>Faculté des Sciences de la Terre, Dépt. de Géologie, Université de Annaba,, Algérie.

<sup>\*\*</sup>Faculté de Génie Civil, Université 20 Aout 1955 Skikda, 21000.  
nabilbough@gmail.com

### **RESUME**

Les rejets urbains au niveau de l'oued Meboudja, un des affluents de la Seybouse posent l'épineuse question de leur impact sur les eaux superficielles et souterraines de la plaine de d'Annaba. Dans cette recherche, plusieurs campagnes de prélèvement à pas mensuel des eaux superficielles de l'oued et les eaux souterraines sur deux points témoins dont un en pompage ont été réalisées pendant le cycle hydrologique annuel. La comparaison entre la composition chimique des eaux de l'oued et celles des eaux souterraines captées montre qu'au niveau de l'oued, on observe l'existence de deux polluants : le phosphate et l'ammonium, par contre, au niveau de la nappe on observe seulement les ions phosphate qui ont pu se déplacer sous la même forme chimique entre l'oued et les deux puits.

La diminution de la concentration des phosphates entre l'oued et les captages est due à l'effet de la dilution des concentrations par les eaux de la nappe, la précipitation des phosphates sous la forme des phosphates de calcium et enfin l'adsorption par les argiles. En revanche l'absence de l'ammonium dans les captages est due au changement de la forme azotée en nitrate au cours du trajet entre les deux milieux sous l'effet des conditions oxydantes.

**MOTS CLÉS:** pollution, phosphate, azote, ammonium, mobilité, oued-nappe, eau-sédiments.

### **ABSTRACT**

Urban wastes in wadi of Meboudja, a tributary of the Seybouse raise the difficult question of their impact on surface and groundwater in conjunction with the plain of Annaba. In this research, several sampling campaigns at no monthly surface water of the river and groundwater on two witnesses in which a pump were conducted during the annual hydrological cycle. The comparison between the chemical composition of the river's water and those of groundwater collected shows that, we observe the existence of two pollutants: phosphate and ammonium, for against, at the water there is only the phosphate ions that have been moving in the same chemical form between the river and the two wells.

The decrease in the concentration of phosphate between river and catchments is due to the dilution effect by the groundwater levels, the precipitation of phosphate in the form of calcium phosphate and finally by the clays adsorption. Nonetheless, the absence of ammonium in the catchments is due to the change in the form of nitrate nitrogen during the journey between the two communities as a result of oxidizing conditions.

**KEYWORDS:** pollution, phosphate, nitrogen, ammonium, mobility, river-groundwater, water-sediment.

### **1 INTRODUCTION**

La qualité des eaux de surface a connu ces dernières années, dans le monde, une grande dégradation, en raison

des rejets des agglomérations ainsi que celles des usines qui se font directement au niveau des cours d'eau. Ce phénomène est surtout observé dans les pays les moins développés, là où le coût du traitement préalable des rejets

est rédhibitoire. Plusieurs études dans le monde sont rapportées sur les effets des rejets industriels et urbains sur l'évolution de la qualité des eaux de surface, Tiwary *et al.* 1994, Bennasser *et al.* 1997, Teixeira *et al.* 1999, Jingsheng *et al.* 2000, Walling *et al.* 2001.

Dans le bassin de la Seybouse, la pollution a atteint un degré élevé. 4,5 millions de m<sup>3</sup> sont rejetés annuellement dans les oueds, sur lesquels 3 millions de m<sup>3</sup> sont des huiles usagées. La qualité des eaux des oueds s'est nettement dégradée et a impactée négativement celle des nappes. Dans cette recherche nous essayerons d'étudier l'interaction eau-nappe grâce à un suivi mensuel des niveaux et de la qualité des eaux de l'oued Meboudja, principal récepteur dans la région, et de la nappe superficielle.

A l'échelle internationale, plusieurs études ont abordé la problématique de l'interaction nappe-rivière, on citera pour mémoire Mariotti (1994), Recoules (1984), Verjus (1984), Chauve *et al.* (1986), Mania *et al.* (1989). Localement, Djabri (1996) a essayé grâce à un suivi plus au moins régulier d'étudier l'état de l'eau de l'oued, les différents polluants chimiques existants, leurs origines ainsi que leur évolution en fonction des paramètres physico-chimiques de l'eau.

## 2 MATERIEL ET MÉTHODES

### 2.1 Site étudié

Le bassin de l'oued Seybouse est l'un des plus grands bassins hydrographiques en Algérie, sa superficie est de l'ordre de 6471 km<sup>2</sup>. L'oued prend naissance dans les hautes plaines d'Ain Abid et Sedrata et se termine dans la mer Méditerranée au nord, après un parcours de 160 km (fig.1).

La zone d'étude est située à l'aval de l'oued Seybouse, entre la ville de Dréan et la mer Méditerranée, elle s'étend sur une superficie de 200 km<sup>2</sup>. Elle comprend deux oueds ; la basse vallée de l'oued Seybouse et 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 km<sup>2</sup>. Les deux oueds parcourent la nappe alluviale de la basse plaine de la Seybouse qui est constituée par des formations sablo-argileuses de 2 à 20 m d'épaisseur avec une perméabilité de l'ordre de 10<sup>-6</sup> à 5.10<sup>-5</sup> m.s<sup>-1</sup> (in Kherici 1993) et une transmissivité de l'ordre de 2,4.10<sup>-3</sup> à 4,2.10<sup>-3</sup> m<sup>2</sup>.s<sup>-1</sup>. Par contre au niveau du lit de l'oued, les formations sont constituées par des matériaux alluvionnaires, des limons et des cailloux.

Le débit de l'oued Seybouse varie entre 0 et 100 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>, mais pendant les périodes de fortes averses il peut atteindre des valeurs de l'ordre de 630 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>. Le débit de l'oued Meboudja est moins important que celui de l'oued Seybouse. Les différents jaugeages au flotteur montrent que son débit oscille entre 1 et 20 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>.

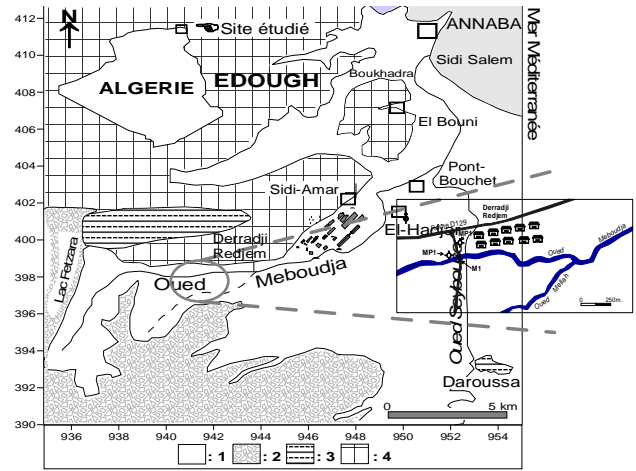


Figure 1: Localisation des sites de prélèvement.

- 1 : Quaternaire indifférencié ;
- 2 : Alluvions des hautes terrasses ;
- 3 : Formations du Numidien
- 4 : Formations métamorphiques.

### 2.2 Méthodes

Les paramètres mesurés in situ, sont : les niveaux d'eau dans l'oued et dans les deux puits, l'Oxygène dissous (O<sub>2</sub>), le potentiel d'oxydoréduction (E<sub>H</sub>) et le pH. Pour les éléments majeurs, les analyses ont portées sur les nitrites (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>), les nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), l'ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), les phosphates (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>), les sulfates (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) et les métaux fer et manganèse.

Dans cette étude, on va examiner l'évolution de plusieurs ions chimiques (Fer, manganèse, phosphate et ammonium) en fonction de la variation du E<sub>H</sub> et O<sub>2</sub> au cours d'un cycle hydrologique caractérisé par deux phases dans la relation nappe-oued (drainage et alimentation).

A cet effet, un suivi annuel à un pas de temps mensuel a été réalisé sur un site comprenant comportant un point de prélèvement dans l'oued (M1) et deux puits captants la nappe alluviale (MP1 et MP2).

## 3 RESULTATS ET ANALYSE

### 3.1 Evolution des niveaux

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 teneurs en fer, phosphate, ammonium, manganèse et autres ions chimiques. Plusieurs périodes ont été distinguées (figure. 2) :

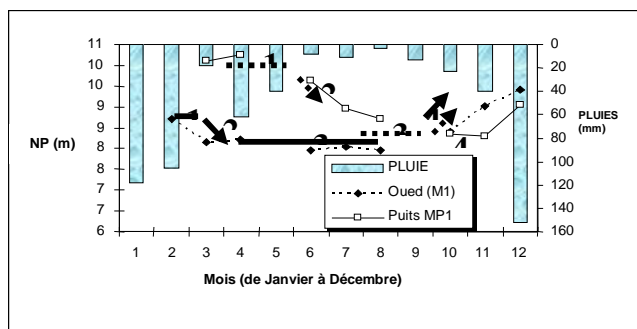


Figure 2: Evolution des niveaux d'eau dans l'oued Meboudja (M1) et dans la nappe superficielle (MP1) en fonction des précipitations.

### 3.1.1 Période n°1

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.

### 3.1.2 Période n°2

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.

### 3.1.3 Période n°3

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.

### 3.1.4 Période n°4

Les premières pluies du mois d'octobre entraînent une remontée beaucoup plus prononcée du niveau de l'oued qui passe, pour la première fois, au dessus de celui de la nappe. Cette situation entraîne un drainage du cours d'eau par la nappe.

## 3.2 Evolution temporelle des teneurs en éléments toxiques

L'étude de la variation dans le temps des teneurs en fer, manganèse, ammonium, phosphates est 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 complexé par exemple et des substances réductrices.

Les évolutions des concentrations de ces ions chimiques ont été suivies de février 1999 à décembre 1999 sur l'oued et sur deux puits. Les courbes d'évolution des niveaux de l'oued et de la nappe ont été également reportées ainsi que les précipitations sur les (figures 3 à 36).

Nous constatons globalement une augmentation brutale des teneurs en fer, manganèse 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 en nitrates évoluent inversement aux niveaux piézométriques. 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 les ions nitrates.

### 3.2.1 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 (figure 3.1). L'écoulement est dirigé essentiellement de la nappe vers l'oued.

Les eaux superficielles présentent de faibles teneurs en ammonium et en phosphates 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<sup>-1</sup>.

### 3.2.2 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 vers oued) que précédemment (figure 5). La chimie des eaux de l'oued présente une légère augmentation des teneurs en phosphate (1 et 7,4 mg.l<sup>-1</sup>) et en ammonium (1,4 et 6 mg.l<sup>-1</sup>) (figures 6 et 12), accompagnée par une augmentation du pH (figure 7), des teneurs en nitrite (figure 14), et en oxygène (figure 11), 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 0,3mg.l<sup>-1</sup>). Par contre les nitrates présentent une augmentation des teneurs, variant entre 60 et 110 mg.l<sup>-1</sup>. Cette augmentation est liée au lessivage des terrains agricoles par les eaux d'irrigation.

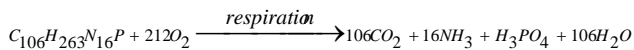
### 3.2.3 Période n°4

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.

La chimie des eaux de l'oued se caractérise alors par une augmentation brutale de l'ammonium (28 à 54 mg.l<sup>-1</sup>) et du phosphate (12,1 à 22,9 mg.l<sup>-1</sup>) et une chute très significative des teneurs en oxygène (11,4 à 3,4 mg.l<sup>-1</sup>), du pH (8,73 à 8,1) et en nitrite (1,716 à 0,132 mg.l<sup>-1</sup>). 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'ortho phosphates, l'équation qui résume cette réaction est donnée ci-après :



(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 MP2 seulement), fer et manganèse qui montrent une hausse rapide des valeurs. L'importance des teneurs au niveau de puits MP2 par rapport au puits MP1 est due à l'effet du pompage au niveau du puits MP2 qui a créé un cône de dépression important et un appel des eaux superficielles vers les puits. A l'opposé, les nitrates (dans les deux puits) et les nitrites (au MP1) chutent brutalement.

Enfin, les fortes précipitations du mois de décembre ont provoqué une forte dilution et un ré oxygénation du milieu (oued), ce qui a entraîné une baisse des teneurs en phosphate (0,91 mg.l<sup>-1</sup>) et en ammonium (2,85 mg.l<sup>-1</sup>) et une légère apparition des nitrates (4,1 mg.l<sup>-1</sup>) (figure 13). 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<sup>-1</sup>), phosphate (0 mg.l<sup>-1</sup>), nitrates (18 mg.l<sup>-1</sup>).

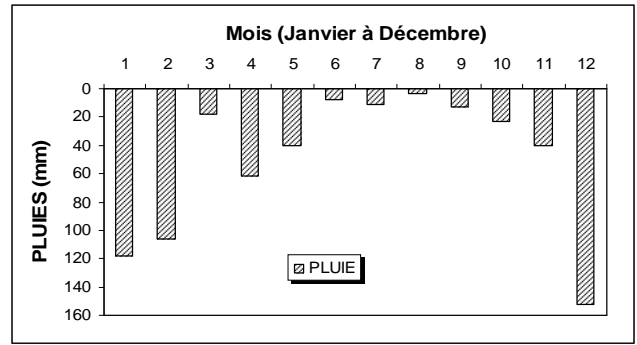


Figure 3 : Précipitations (mm) du mois de Janvier à Décembre.

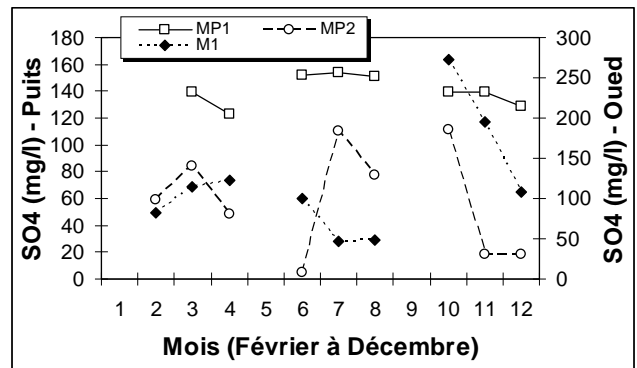


Figure 4 : Evolution des Sulfates dans les puits MP1-MP2 et au niveau de l'oued Meboudja.

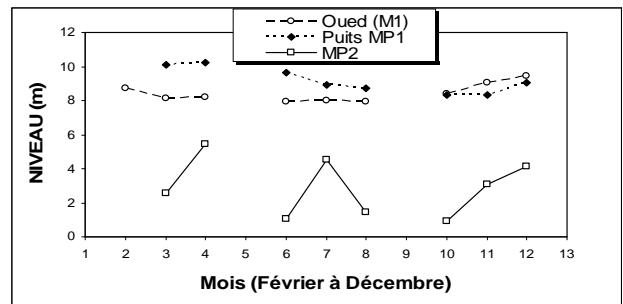


Figure 5 : Evolution des niveaux dans les puits MP1-MP2 et de l'oued Meboudja.

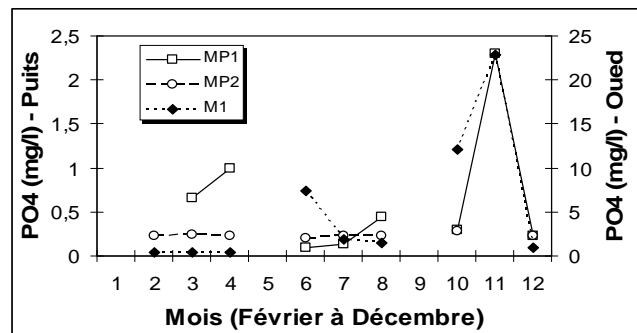


Figure 6 : Evolution des Phosphates dans les puits MP1-MP2 et au niveau de l'oued Meboudja.

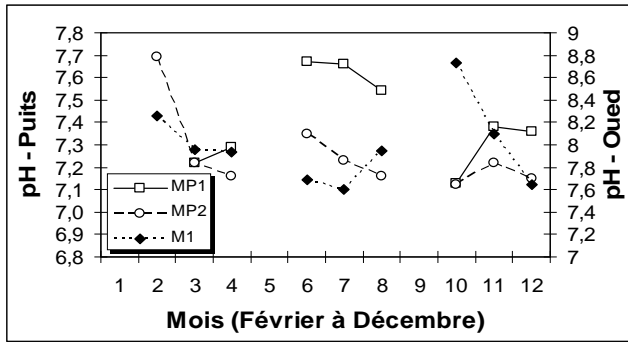


Figure 7: Evolution du pH dans les puits MP1-MP2 et au niveau de l'oued Meboudja.

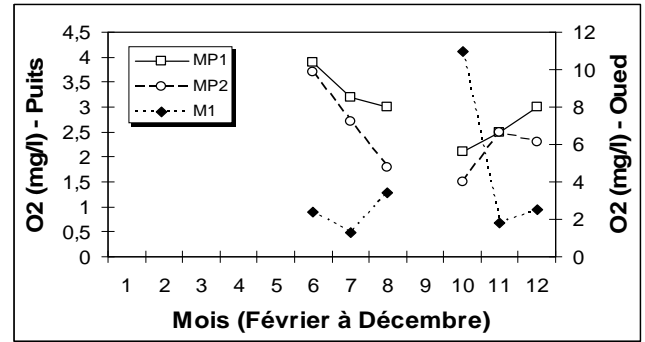


Figure 11: Evolution de l'Oxygène dans les puits MP1-MP2 et au niveau de l'oued Meboudja

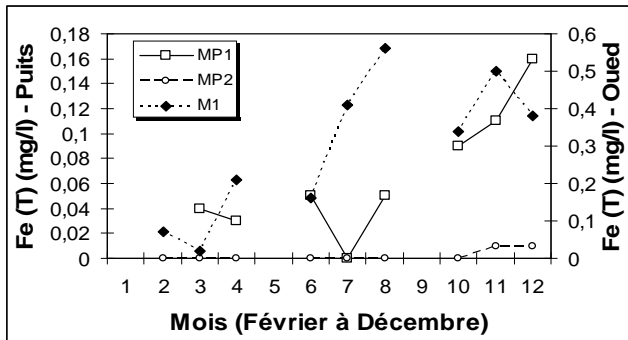


Figure 8: Evolution du Fer (T) dans les puits MP1-MP2 et au niveau de l'oued Meboudja

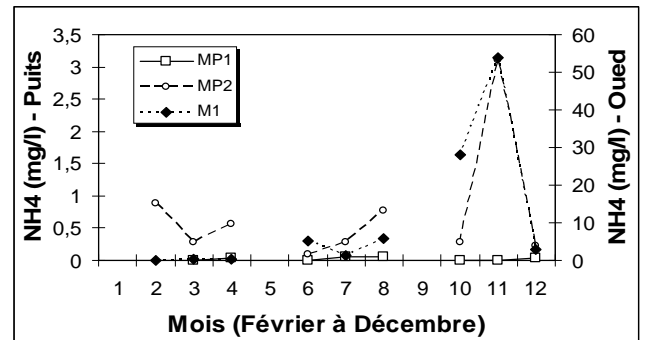


Figure 12: Evolution de l'Ammonium dans les puits MP1-MP2 et au niveau de l'oued Meboudja.

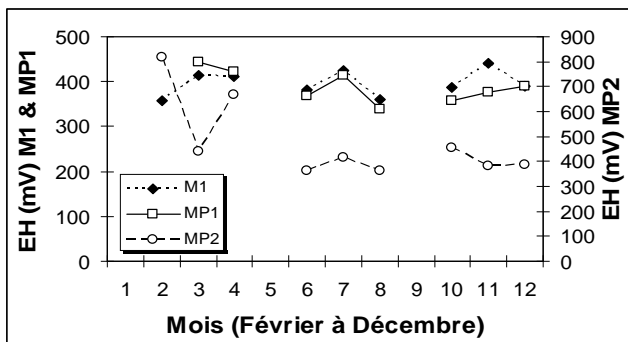


Figure 9: Evolution du EH dans les puits MP1-MP2 et au niveau de l'oued Meboudja

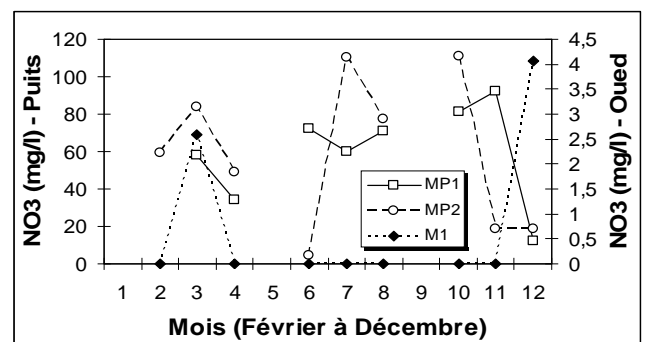


Figure 13: Evolution des Nitrates dans les puits MP1-MP2 et au niveau de l'oued Meboudja.

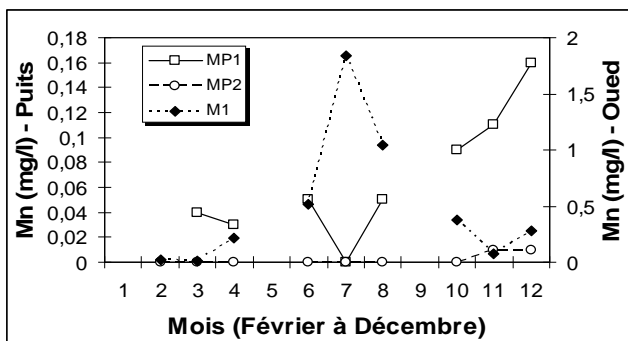


Figure 10: Evolution du méanganèse dans les puits MP1-MP2 et au niveau de l'oued Meboudja

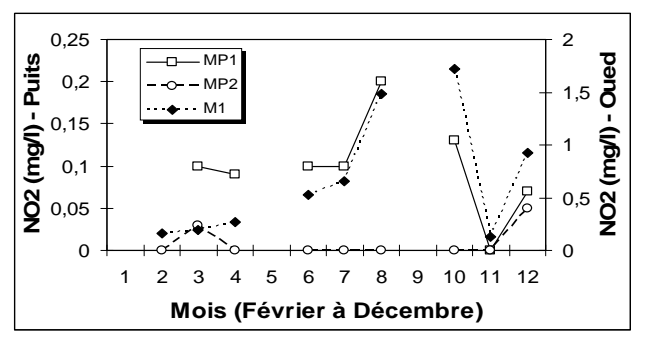


Figure 14: Evolution des Nitrites dans les puits MP1-MP2 et au niveau de l'oued Meboudja

#### 4 Répartition spatiale

Le schéma synthétique de la (figure 15), inspiré des travaux de Mariotti (1994), montre en effet qu'une forte épaisseur des niveaux argileux et des limons peut jouer le rôle d'écran en surface et favoriser les conditions réductrices dans la nappe. Ces dernières sont notablement renforcées lorsque des matières organiques s'associent aux argiles.

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

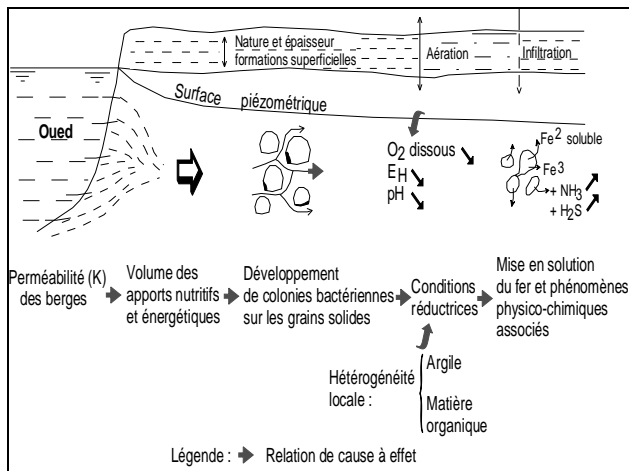


Figure 15 : Schéma explicatif synthétique de l'évolution des concentrations en fer dans la nappe alluviale (in Mariotti 1994).

L'examen des cartes (a, b, c, d, e, f, g, h) de la figure 16, montre que pour le mois d'Août, les plus fortes valeurs de  $E_H$  se situent à l'amont de la Meboudja, à la confluence des deux oueds, au niveau d'El-Bouni et sur les bordures de la butte de Daroussa. Ces secteurs correspondent globalement à des zones recevant des eaux oxydantes (pluies, eaux de l'Edough).

Les zones à fortes teneurs en  $NO_3$  correspondent à des secteurs à forte pratique agricole notamment sur les bordures de Belilieta (figure 16b).

Les zones à fortes teneurs en oxygène, se situent tout au long de l'oued Meboudja et à l'aval de l'oued Seybouse, ces secteurs fortement oxygénés sont dus, aux apports des eaux de pluies (figure 16c).

Les fortes teneurs en nitrites caractérisant les zones médianes entre les deux oueds et celle située à l'aval de l'oued Meboudja, indiquent une forte pollution issue de zones dominées par les activités agricoles (figure 16d).

Les eaux de surface peuvent être contaminées par des rejets industriels ou par le lessivage des terres cultivées renfermant des engrais phosphatés ou traitées par certains pesticides (Rodier, 1996).

La concentration en  $PO_4$  qui est située de part et d'autre de la zone de confluence des oueds Meboudja et Seybouse, indiquent une origine agricole et urbaine (figure 16f).

Les teneurs en fer et en manganèse de la figure 5a-b, montrent des valeurs élevées dans la zone située en bordure de la butte de Daroussa, ces valeurs se caractérisent par des apports en eaux réductrices, par rapport à toute la région.

La répartition du  $NH_4$  montre que ce sont surtout les points situés à l'aval de l'oued Meboudja et à proximité de l'oued Seybouse qui montrent les plus fortes valeurs.

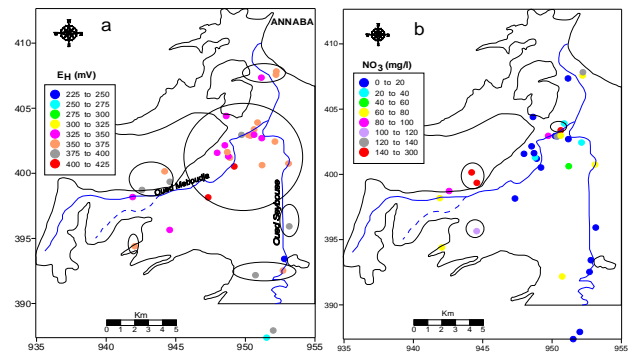


Figure 16 : a- Répartition spatiale de l'EH (mV).  
b- Répartition spatiale de  $NO_3$  (mg/l).

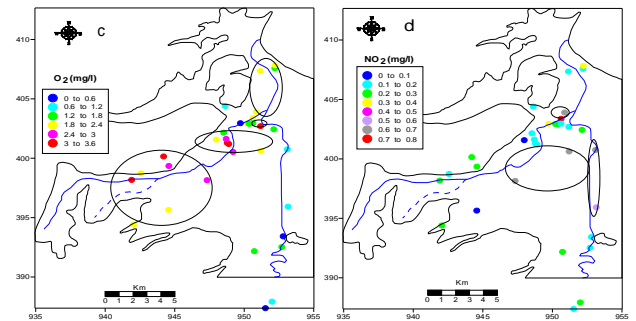


Figure 16 : c- Répartition spatiale de l' $O_2$  (mg/l)  
d- Répartition spatiale de  $NO_2$  (mg/l).

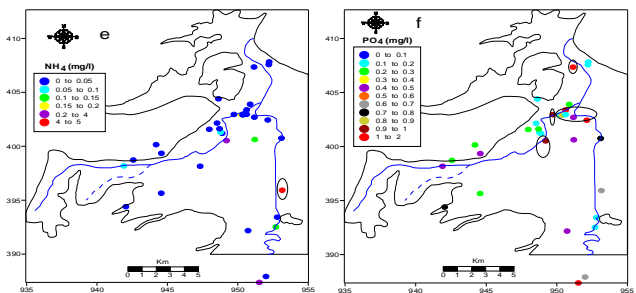


Figure 16 : e- Répartition spatiale de  $NH_4$  (mg/l).  
f- Répartition spatiale de  $PO_4$  (mg/l).

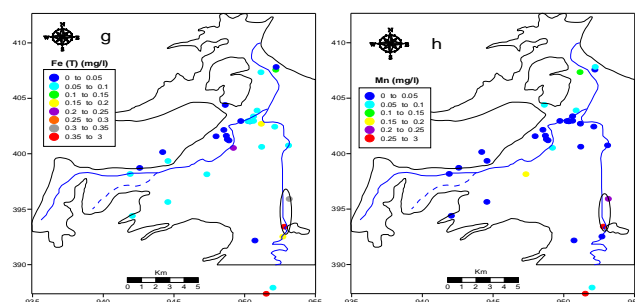


Figure 16 : g- Répartition spatiale de Fe(T) (mg/l).

h- Répartition spatiale de Mn (mg/l).

## 5 Conclusion

Il apparaît que les berges de l'oued Meboudja sont perméables et permettent donc des communications en divers endroits avec la nappe superficielle. Les changements du sens d'écoulement entre les deux milieux (oued et nappe) sont importants car ils agissent fortement sur la mise en solution du fer, manganèse, phosphate, ... dans les eaux de la nappe.

Les processus de réduction liés à la réalimentation de la nappe par l'oued jouent un rôle majeur avec des accroissements des teneurs en fer, manganèse, ammonium et phosphate à des valeurs largement supérieures à celles du régime de drainage de la nappe par l'oued.

Les résultats de cette étude sont conforme à ceux obtenus sur d'autres sites en Europe notamment où plusieurs auteurs ont montré qu'au cours de son transit vers la nappe les eaux de l'oued riches en matières organiques provoquent au niveau des berges une prolifération bactérienne qui se manifeste par une diminution de l'oxygène dissous, du pH, du  $E_H$  et une mise en solution du fer et du manganèse avec dégagement de  $H_2S$  et  $NH_4$ .

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] Bennasser L., Fekhaoui M., Benoit-Guyoud J. L. and Merlin G. 1997. Influence of tide on water quality of lower Sebou polluted by Gharb plain wastes (Morocco), *Wat. Res.* 31, 4, 867 – 867.
- [2] Chauve P., Mania J., Mignot C., Rémy F., Verjus Ph. 1986. Interaction nappe-rivière et cycle de fer-manganèse dans la nappe alluviale de L'Ognon (Franche-Comté). *Hydrogéologie*, 1, 3-18.
- [3] Debièche T.H. (2002).- Evolution de la qualité des eaux (salinité, acidité et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle : Application à la basse plaine de la Seybouse, N.E. algérien. Thèse de Doc. de l'univ. de Franche-Comté, 200p.
- [4] Djabri L. 1996. Mécanismes de la pollution et vulnérabilité des eaux de la Seybouse. Origines géologiques, industrielles, agricoles et urbaines. Th. Doct. Es-Sciences, Univ. Annaba, 261p.
- [5] Jingsheng C. Xuemin G. Dawei H. Xinghui X. 2000. Nitrogen contamination in the Yangtze river system, China. *Journal of Hazardous Materials.*, A73, 107 – 113.
- [6] Kherici N. 1993. Vulnérabilité à la pollution chimique des eaux souterraines d'un système de
- [7] nappes superposées en milieu industriel et agricole (Annaba-la Mafragh), Nort-Est Algérien. Th. Doct. Es-Sciences, Univ. Annaba, 170p.
- [8] Mania J., Chauve P., Remy F., Verjus P. 1989. Evolution of iron and manganese concentration in presence of carbonates and clays in the alluvial grand waters of the Ognon (Franche-Comté, France), *Geoderma*, 44, 219 – 227.
- [9] Mariotti A. 1994. Dénitrification *in situ* dans les eaux souterraines, processus naturels ou provoqués. *Hydrogéologie*, 3, 43-68.
- [10] Rodier J. 1996. L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, 8 e édition, Dunod, Paris.
- [11] Mariotti A. 1994. Dénitrification *in situ* dans les eaux souterraines, processus naturels ou provoqués. *Hydrogéologie*, 3, 43-68.
- [12] 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.
- [13] Teixeira E. C., Sanchez J.C.D., Migliavacca D., Binotto R.B., Fachel J.M.G. 1999. Environmental assesment : Study of metals in fluvial sediments in sites impacted by coal processing and steel industry activities., *Fuel*, 79, 1539 – 1546.
- [14] Tiwary, R.K. ; Dhar, B.B. 1994. Effect of coal mining and coal based industrial activities on water quality of the river Domodar with specific reference to heavy metals., *International Journal of Surface Mining, reclamation and Environment*, Vol. 8, issue 3, pp. 111 – 115.
- [15] 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.
- [16] Walling D. E., Russell M. A. Webb B. W. 2001. Controls on the nutrient content of suspended sediment transported by British rivers., *The Science of the Total Environment*, 266, 113 – 123.