

Évaluation du risque pour l'environnement des métaux lourds [Fe(T)-Mn⁺²] issus du milieu Industriel : cas de la plaine de la Meboudja, Nord-Est Algérien

Nabil BOUGHERIRA* et Azzedine HANI

*Faculté des Sciences de la Terre, Département de Géologie, Université de Annaba,
BP 12, 23000 Annaba, Algérie*

* Correspondance, courriel : nabilbough@gmail.com

Résumé

L'Algérie a mis en place un réseau industriel dense, concentrant des secteurs polluants et gros consommateurs d'eau et d'énergie. Ce tissu industriel a été implanté à proximité des sources d'eau (barrages, mer), ou des fleuves qui sont devenus des décharges pour des rejets liquides non contrôlés. La Meboudja est un des oueds les plus anthropisés de la plaine d'El Hadjar qui abrite une des plus fortes densités industrielles, agricoles et urbaines (localité d'Hjar diss, Derradji Rdjam ; El Hadjar ; et Sidi Amar). Des concentrations excessives de métaux lourds peuvent être introduites dans l'environnement, par exemple, par les déchets industriels (complexe sidérurgique d'El Hadjar, la zone industrielle de Meboudja et la zone industrielle de pont Bouchet).

Les apports en fer et en manganèse dans les eaux superficielles et souterraines de la plaine de Meboudja sont très variables en quantité mais aussi en qualité. Des teneurs élevées en fer « dissous » de 26.30 mg.l⁻¹ et en Manganèse dissous, 3.40mg.l⁻¹, ont été observées dans les eaux de l'oued Meboudja [1]. Ces teneurs ne peuvent être expliqués que par des émissions intenses en provenance des différents rejets situés dans la plaine.

Mots-clés : *métaux lourds, rejet liquide, déchets industriels, pollution, environnement, oued Meboudja, Nord-Est algérien*

Abstract

Evaluation of environmental risk of heavy metals [Fe (T)-Mn^{2 +}] from the industry: Case of plain Meboudja, North-eastern Algeria

Algeria has established a dense industrial network, focusing polluting sectors and major consumers of water and energy. This industrial base was established near water sources (dams, sea), or rivers have become dumping grounds for waste liquids uncontrolled. The Meboudja is one of the most rivers polluted by man of the plain of el Hajar: it houses one of the highest densities industrial, agricultural and urban (city of Hjar Diss, Derradji Rdjam; El Hajar, and Sidi Amar). Excessive levels of heavy metals may be introduced into the environment, for example, industrial waste (steel complex el Hajar, the industrial zone Meboudja, and the industrial area of bridge Bouchet).

The contributions of iron and manganese in surface water and groundwater in the plain Meboudja are very variable in quantity but also quality. Elevated levels of iron "dissolved" [a max 26.30mg.l⁻¹], is indeed what

is observed: increasing levels of dissolved manganese [3.40mg.l^{-1}] in the waters of the region [1] can be explained by emission intensity from different releases.

Keywords : *heavy metals, waste liquids, industrial waste, pollution, environment, most rivers Meboudja, North-eastern Algeria*

1. Introduction

Depuis plusieurs années déjà, les villes se caractérisent par un développement industriel à proximité des grandes agglomérations, une hausse du trafic automobile et une croissance démographique intense. Parallèlement à ce développement, la production des déchets divers (industriels ou ménagers), les rejets dans le milieu naturel ont vu leurs quantités augmenté et leurs qualités se dégradées provoquant des problèmes sanitaires et environnementaux préoccupants.

La surveillance de la pollution des eaux de surface et souterraine par les métaux lourds dans la plaine de la Meboudja, a commencé en 1999 [1] et s'est poursuivie en 2005 et en 2006 par une étude sur la caractérisation de la pollution des eaux en milieu industriel et urbain de la plaine d'El-Hadjar, réputée comme étant le pôle industriel le plus grand et le plus diversifié d'Afrique [2].

Le fer a été retrouvé à l'aval des points de rejets issus de l'usine Arcelor Métal et de différentes industries en saison sèche 1999 (26.30 mg.l^{-1}), une concentration supérieure à la limite de rejet (3.00 mg.l^{-1}) et la contamination par le fer avec 6.28 mg.l^{-1} pour l'année de 2005.

La contamination par le manganèse des eaux superficielles, semble s'aggraver aussi à l'aval du site, elle a été retrouvée en saison sèche 1999 (3.4 mg.l^{-1}) et en Octobre 2006 (1.00mg.l^{-1}). L'eau souterraine indique une concentration égale à la limite de rejet (1 mg.l^{-1}) pour le mois de Décembre 2006 (Mp29).

Les autres points de la plaine de l'Oued Meboudja présentent des teneurs en métaux lourds très variables. Ce travail représente le prolongement des travaux de thèses de Débièche [1,3,4].

2. Matériel et méthodes

2-1. Site étudié

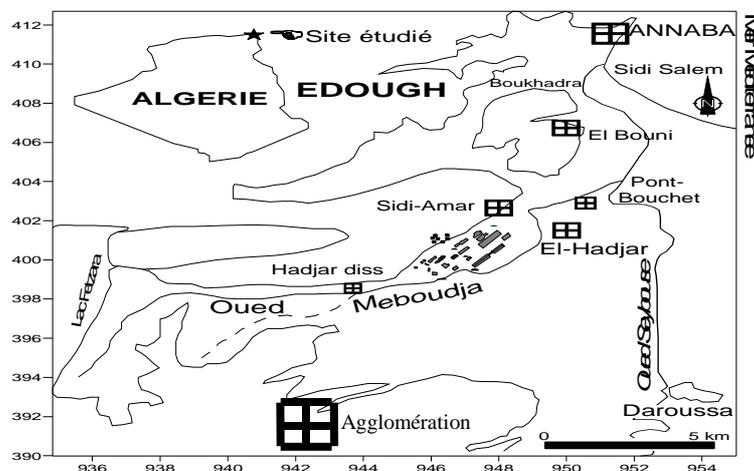


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude [6]

2-2. Méthodologie

Pour évaluer les concentrations en éléments traces métalliques (ETM) dans les eaux de l’oued Meboudja (représentées en 3 points) et sur 9 puits, on a effectué un suivi de l’évolution temporelle des ions chimiques, Fer (T) et Mn^{2+} , durant les années 1999, 2005, 2006, et 2007 (Janvier à Février).

Les paramètres physicochimiques, conductivité, température, pH et E_H , ont été mesurés sur le site à l’aide d’un conductivimètre type HANNA instruments Hi 8633 et un pH-mètre de marque Mettler Toledo MP 120.

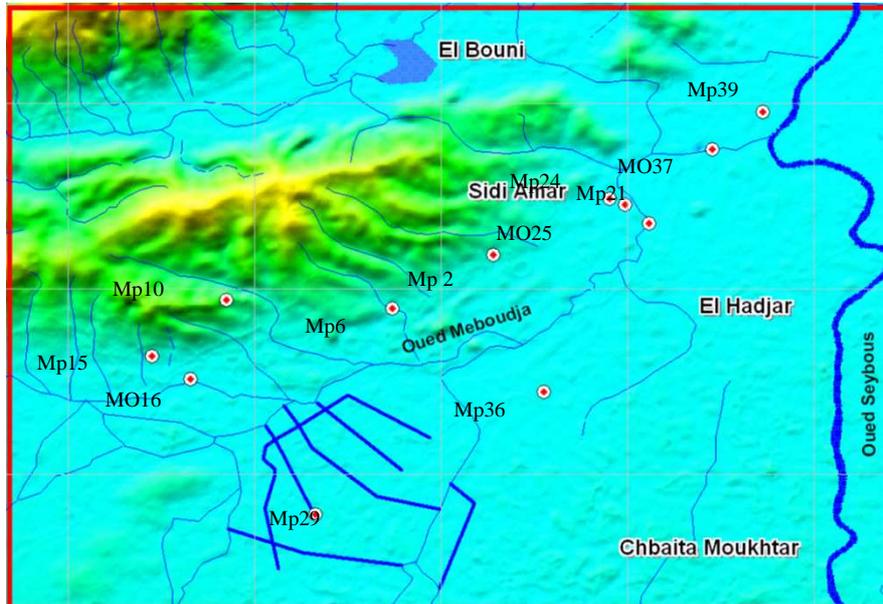


Figure 2 : Carte d’inventaire des points d’eau de la zone d’étude.

Douze campagnes d’échantillonnage ont été menées au cours de deux années consécutives, 2006 et 2007. L’eau de surface a été échantillonnée en différents sites couvrant une distance d’environ 8 km en amont (El Karma) de la ville d’El Hadjar, soit le point MO37 le point majeur de l’Oued Meboudja collectant les différents rejets (industriels et urbains) (**Figure 2**).

Des échantillons d’eau de référence ont aussi été prélevés à la station (MO16) située à 3 km en amont du point de rejet industriel afin d’identifier les conditions initiales des eaux réceptrices. Les échantillons d’eau de surface ont été prélevés à l’aide d’un tube préleveur en plastique d’un mètre de longueur attaché à un décimètre gradué.

3. Résultats

3-1. Statistiques élémentaires

Les résultats des analyses des métaux en traces particuliers et dissous au niveau de l’oued Meboudja, montrent que la variabilité temporelle et spatiale du Fer (Fer T) et du Manganèse (Mn^{2+}) présentent un caractère polluant et qui se manifeste par des concentrations très élevées atteignant 9.9 mg.L^{-1} pour le fer et 2.52 mg.L^{-1} pour le Manganèse.

Le suivi de ces deux éléments durant les campagnes de 1999, 2005 et 2006 permet d'élaborer les **Tableaux 1 et 2** des statistiques élémentaires.

Tableau 1 : Valeurs maximales, minimales, médianes et moyennes arithmétiques des teneurs en Fer (T) de 1999 à 2005, et 2006.

Fer T (mg.L ⁻¹)	Mp2	Mp6	Mp10	Mp15	MO16	Mp21	Mp24	MO25	Mp29	Mp36	MO37	Mp39
Moyenne	0,145	0,184	0,347	0,100	0,493	0,130	0,181	3,082	0,233	0,261	3,971	0,194
Max	0,286	0,296	0,835	0,100	1,170	0,256	0,652	15,600	0,500	0,700	26,300	0,407
Min	0,004	0,037	0,100	0,100	0,030	-	-	0,026	0,029	0,012	0,052	0,019
Écart type	Écart type	0,050	-	-	0,007	0,352	0,005	0,021	0,309	0,436	0,000	1,448

Tableau 2 : Valeurs maximales, minimales, médianes et moyennes arithmétiques des teneurs du Mn (T) de 1999 à 2005 et 2006.

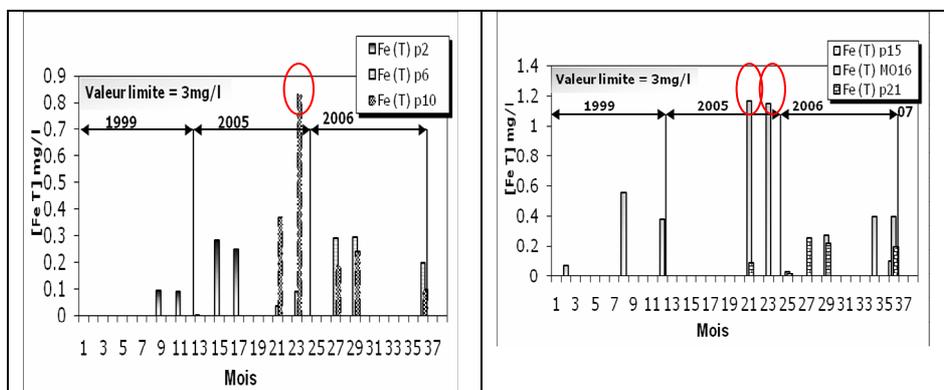
Mn (mg.L ⁻¹)	Mp2	Mp6	Mp10	Mp15	MO16	Mp21	Mp24	MO25	Mp29	Mp36	MO37	Mp39
Moyenne	0,025	-	-	0,005	0,323	0,003	0,015	0,379	0,354	0,100	0,816	0,133
Max	0,100	0,030	0,080	0,010	1,040	0,010	0,030	1,000	1,000	0,100	3,400	0,400
Min	0,004	0,037	-	-	0,020	-	-	0,060	-	0,100	0,050	-
Ecart type	0,050	-	-	0,007	0,352	0,005	0,021	0,309	0,436	0,000	1,448	0,231

Le **Tableau 1** montre de grandes valeurs de fer (T) avec un maximum de plus 26 mg.L⁻¹ pour le point 37 et supérieur à 3 mg.L⁻¹ pour le point 25 de l'Oued Meboudja. Les autres valeurs des eaux souterraines sont données dans le **Tableau 1**. Les statistiques élémentaires obtenus des analyses chimiques du Mn²⁺ des eaux superficielles et souterraines sont représentés dans le **Tableau 2**.

3-2. Évolution Temporelle

Les caractéristiques physico-chimiques influencent la spéciation des métaux tant particuliers que dissous et, par conséquent, leur biodisponibilité et leur toxicité [7-9]. La **Figure 3** permet de comparer les diagrammes d'évolution des teneurs en ETM.

La distribution des tailles des métaux traces est donc une caractéristique complémentaire de leur spéciation chimique et est importante pour comprendre leur devenir environnemental et leurs impacts sur les organismes aquatiques [10-12].



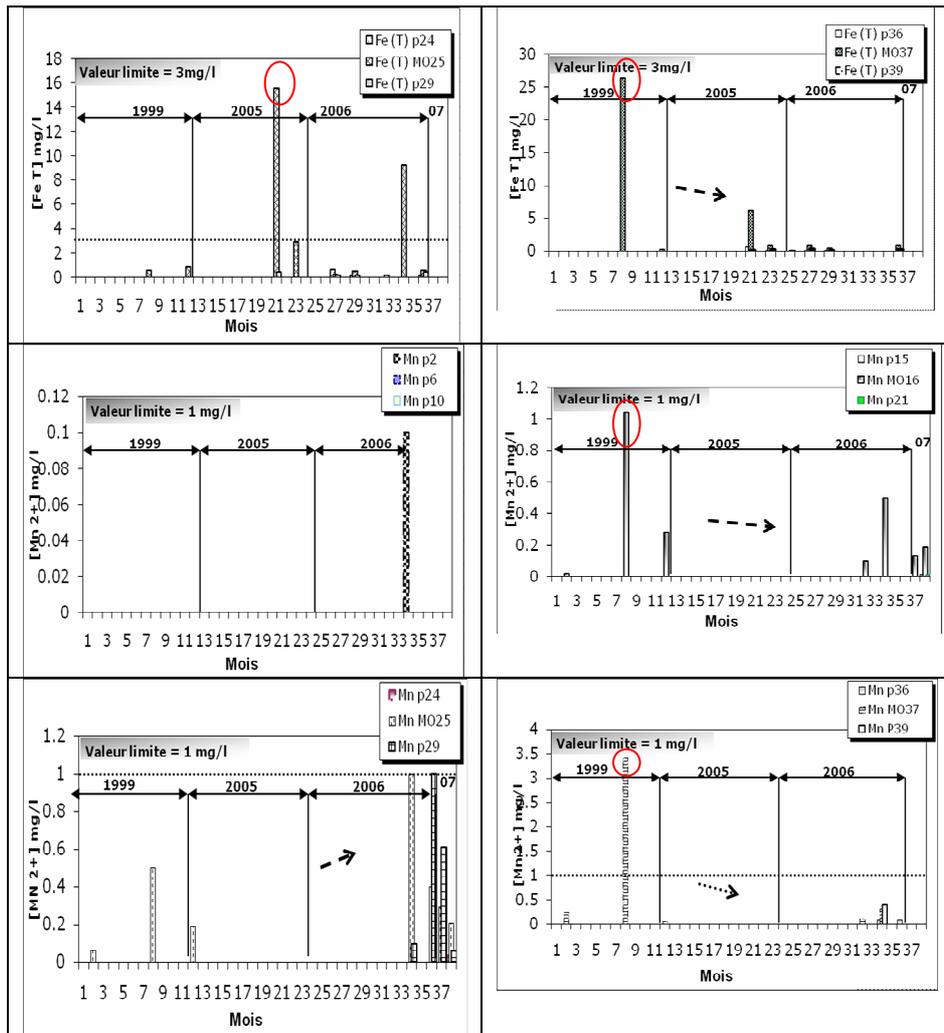


Figure 3 : Évolution temporelle des métaux en traces (Fer T et Mn²⁺).

3-2-1. Évolution temporelle du fer (T)

La présence de fer dans l'eau peut avoir diverses origines [1]:

- naturelle par le lessivage des terrains argileux,
- industrielle (métallurgiques, sidérurgiques).

Selon les diagrammes temporels des teneurs en fer pour la période 1999 à 2007, nous constaterons 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 le point MO16. Cependant, la contamination par le fer est très élevée dépassant de loin la valeur limite, elles sont respectivement de 15.6 mg/l en septembre 2005 et 9.3 en octobre 2006 et 26.3 mg/l en Août 1999. Ces fortes valeurs sont observées notamment au niveau des points d'eau de l'Oued, MO 25 et MO 37, situés à l'aval. 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.

3-2-2. Évolution temporelle du manganèse

Les concentrations en manganèse sont beaucoup plus élevées au niveau des eaux superficielles. Les figures montrent des valeurs égales à 1.04 mg/L (août 1999), 1 mg/L (octobre 2006) et même supérieures à la valeur limite de 3.4 mg/L (août 1999).

La présence du manganèse est liée à la métallurgie, l'industrie électrique et à l'industrie chimique. Sa présence dans l'eau de l'oued est liée aux rejets de l'usine sidérurgique [1].

En ce qui concerne les eaux souterraines, les fortes concentrations sont observées seulement au niveau du P29 avec 1mg/L (décembre 2006).

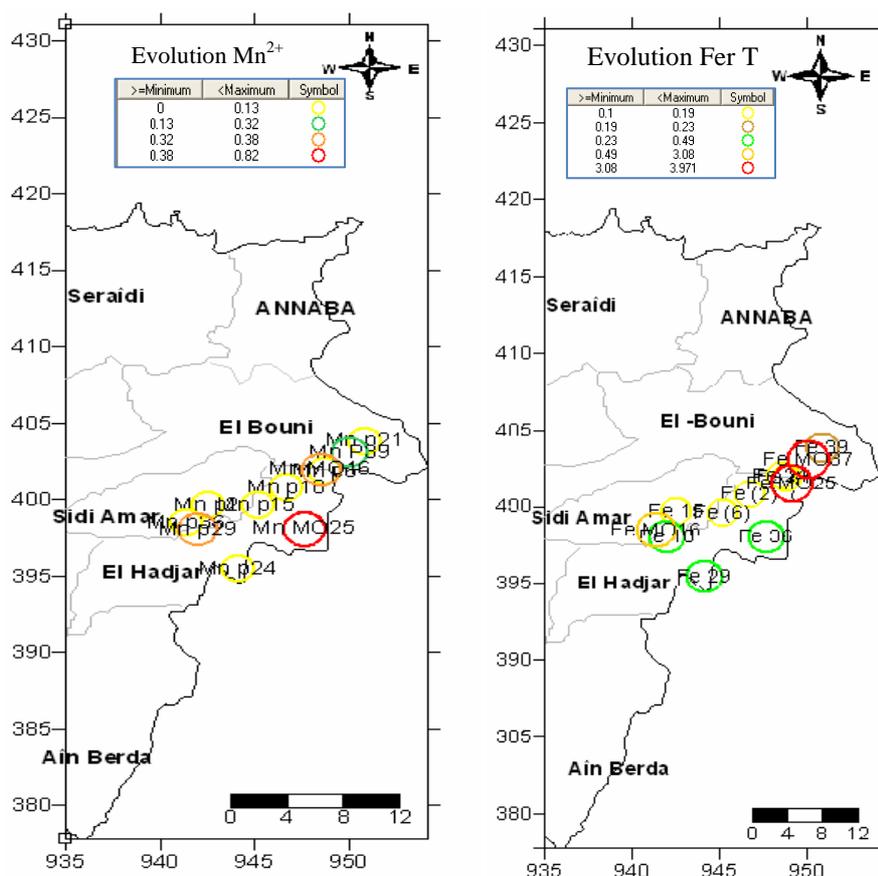


Figure 4 : Évolution spatiale moyenne des métaux en traces Fer T et Mn^{2+}

4. Caractérisation hydrogéologique

Dans la zone d'étude (basse plaine de la Seybouse), la chimie des ressources en eau de surface et souterraines est souvent influencée par l'effet de la dissolution des formations géologiques et par les rejets industriels [1]. 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 leurs rôles sur l'acquisition du contenu physico-chimique des eaux de la nappe.

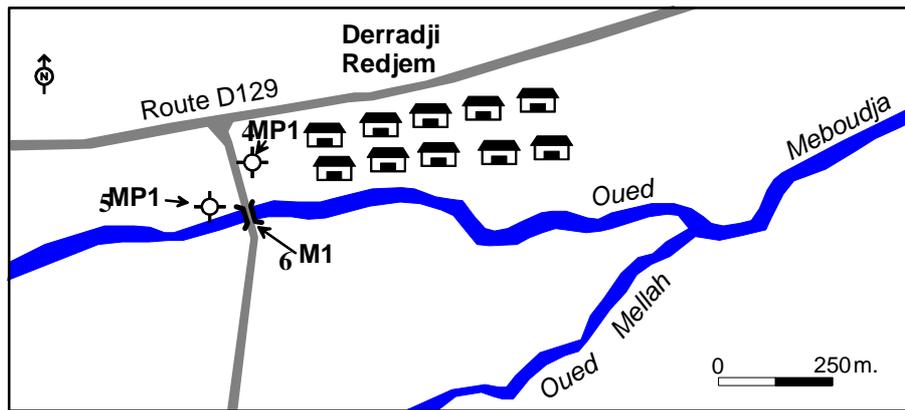


Figure 5 : Localisation des sites de prélèvement

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 M016 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 les **Figures 6 et 7**.

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 en nitrates 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 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⁻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 phosphates 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 vers 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 phosphates 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 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 [1].

Ces changements des conditions physico-chimiques ont produit une détérioration de certains types de végétaux [1] 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)

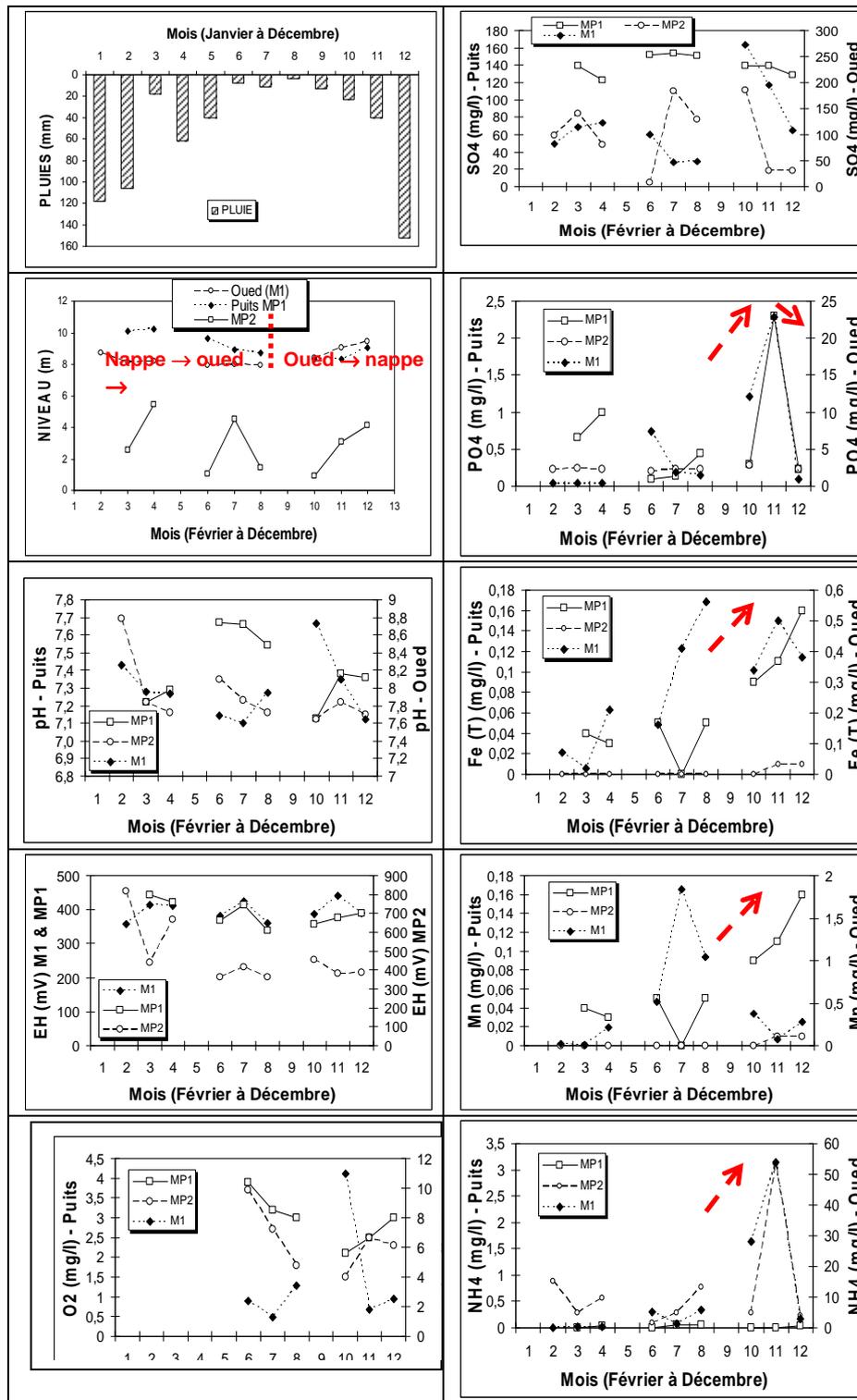
A partir de cette équation on constate que le phosphate et l'ammonium peuvent avoir une origine interne à la biomasse.

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 mg.L⁻¹) et des sulfates (18,9 à 61.54 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, ou 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.



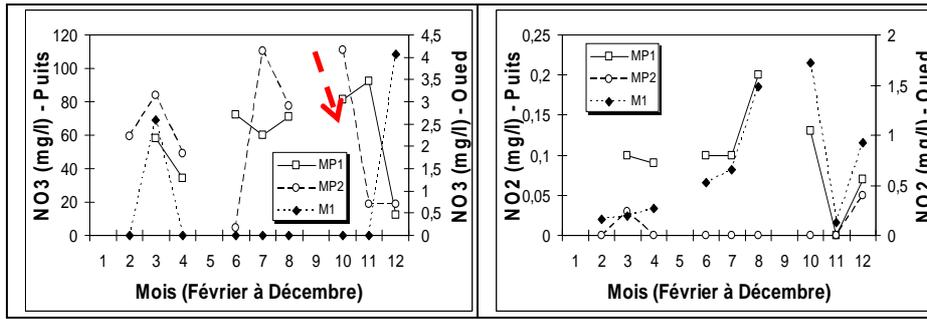
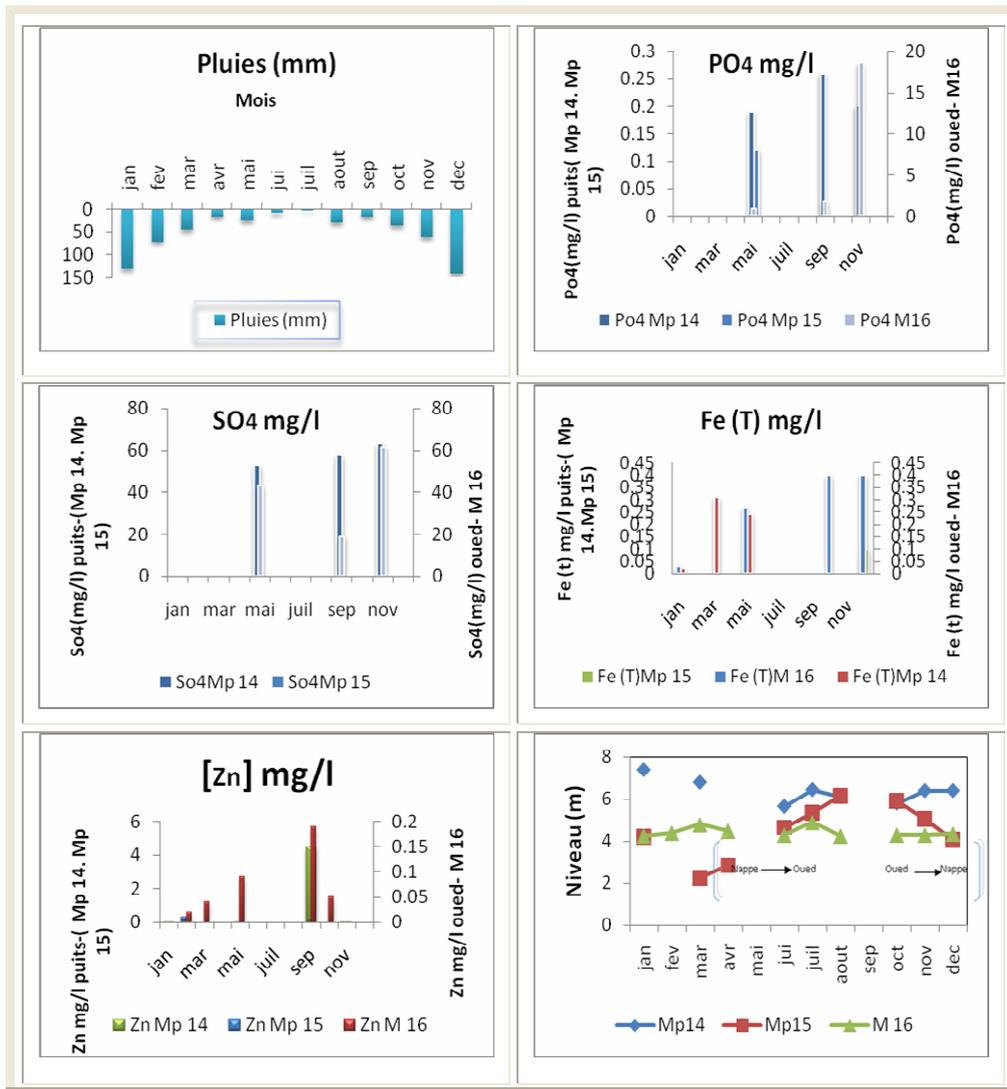


Figure 6 : Évolution des paramètres physico-chimiques dans les puits Mp14 (ou Mp2) et Mp15 (ou Mp1), situés à proximité de l'oued Meboudja M16 (ou M1) en 1999



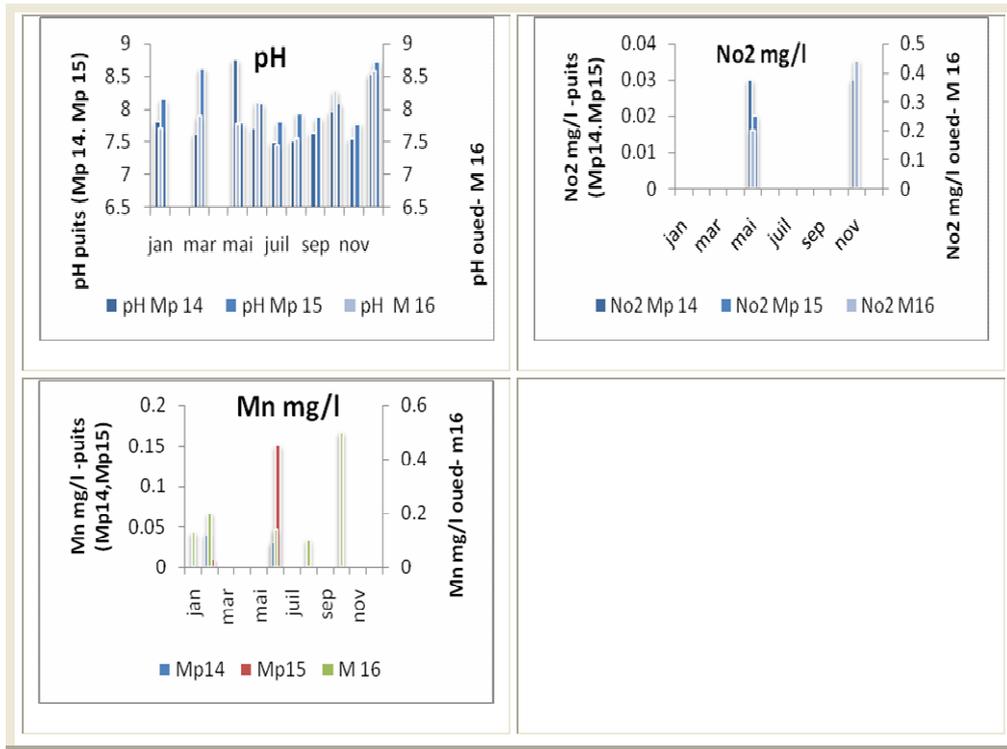


Figure 7 : Évolution des paramètres physico-chimiques dans les puits Mp14 et Mp15, situés à proximité de l'oued Meboudja M16 en 2006

5. Conclusion

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 contamination de l'environnement du site de l'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 sidérurgique ; car avant 1985, l'usine a stockée, 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. Ce point serait à vérifier dans le cadre de nos recherches futures.

Références

- [1] - T. H. DEBIECHE, Évolution 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, (2002) 199 p
- [2] - S. HAZOURLI, Caractérisation de la pollution des eaux résiduaires de la zone industrielle D'El-Hadjar, Annaba. *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, n° 06, Décembre (2007), pp. 45-55.
- [3] - W. HAMZAoui, Caractérisation de la pollution des eaux en milieu industriel et urbain. Cas de la plaine d'El-Hadjar (2007).
- [4] - N. BOUGHERIRA, Impact des rejets industriels du complexe sidérurgique sur les eaux superficielles et souterraines dans la plaine de Meboudja. Magister.Univ.Badji-Mokhtar Annaba, (2008) 93p.
- [5] - A. HANI, 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 (2003).
- [6] - J. AVOINE, D. BOUST, et J.-F. GUILLAUD, Flux et comportement des contaminants dissous et particulaires dans l'estuaire de la Seine. Rap .5^e Cons. Int. Explor. Mer, 186, (1986) 392-411.
- [7] - O. BAGHDAD, M. ERIC, S. MOHAMED, J. C. FICHER, B. ABDAL, W. MICHEL, Dominique BOUST, H. DIDIER et R. MARIANNE, Le fer et le Manganèse dans l'estuaire de la seine, étude des échanges particulaire dissous. Identification et réactivité des phases porteuses (2007).
- [8] - D. BOUST, Contribution à l'étude de la réactivité des métaux traces au cours des cycles érosion – sédimentation dans l'estuaire de la Seine : redistribution dans les eaux interstitielles des sédiments anoxiques. Rapport Seine -Aval- Thème Dynamique des contaminants (1997).
- [9] - C. CLAUDE et Kh-H. SOPHAL, Recherche de métaux et de quelques micropolluants organiques dans l'eau du Lemane (1992).
- [10] - L. DJABRI, Mécanismes de la pollution et vulnérabilité des eaux de la Seybouse. Origines géologique industrielle, agricole et urbaine. Th. Doct. Es-Sciences, Univ. Annaba, (1996) 261p.
- [11] - Dominique BOUST, C. F. JEAN, O. BAGHDAD, P. FABIENNE et W. MICHEL, Fer et Manganèse : réactivité et recyclages, (1999).
- [12] - F. BRECHIGNAC, et G. DEVILLE-CAVELIN, Fiche radionucléide. Fer 59 et environnement-IRSN (2002).
- [13] - ISGA/ANNABA, Identification des caractéristiques géologiques et hydrogéologiques du bassin versant englobant le crassier externe de l'usine ISPAT Annaba. 35p (2004).
- [14] - P. L. LOPEZ et E. P. GRAHAM., Determination of labile pool of manganese, iron, zinc, cobalt and copper in deficient soils by isotopic exchange. *6RLO_6FL*, 114 (1972) 296-299.
- [15] - J. S. MARSHALL et J. H. LE ROY, Iron, Manganese, Cobalt and Zinc Cycles in South Carolina Reservoir. Nelson DJ (Ed.) *5DGLRQXFOLGHV_LQ (FRV\ VWHPV*, pp. 465-473. CONF-710501 (1973).
- [16] - VALERIE DEVALLOIS – 2^{ème} année de thèse modélisation des transferts des métaux trace dans les cours d'eau : échanges solide-liquide et diagenèse précoce, *Journées des thèses IRSN*, 1er- 4 octobre 2007.
- [17] - YACOUB ISSOLA, Concentration en métaux lourds des sédiments d'une lagune côtière tropicale: lagune de Fresco (Cote d'Ivoire). *Journal of Applied Biosciences 18: 1009-1018, ISSN, 1997-5902* (2009).
- [18] - ZAHID IDLAFKIH, et MICHEL MEYBECK, Comportement des métaux particuliers (Al, Fe, Me, Cd, Cu, Hg, Pb et Zn) dans la seine a poses en période de hautes eaux (1990-1995). *Freshwater Contamination (Proceedings of Rabat Symposium S4, April-May 1997). IAHS Publ. no. 243, 1997.*