

Influence des rejets des eaux usées sur la composition des eaux de surface et des sédiments superficiels du lac Merja Fouarate au Maroc

H. Nassali^{1,*}, H. Ben Bouih¹, A. Srhiri¹ et M. Dhabbi²

¹Laboratoire d'Electrochimie et des Etudes de Corrosion et d'Environnement, Faculté des Sciences, Université Ibnou Tofail, B.P. 133, Kénitra 14000, Maroc

²Laboratoire de Physico-Chimie des Interfaces et des Matériaux, Institut National de Recherche Scientifique et Technique B.P. 95, Hammam-lif 2050, Tunisie

(Reçu le 14 Novembre 2004, accepté le 28 Décembre 2004)

* Correspondance et tirés à part, e-mail : hnassali@yahoo.fr

Résumé

Le site objet du présent travail est un lac situé à proximité d'une grande agglomération urbaine. Cette dépression qui communique avec la nappe phréatique sous-jacente est devenue actuellement un exutoire dans lequel sont déversés, sans aucun traitement préalable, les effluents domestiques et industriels des quartiers avoisinants. Dans le but d'évaluer l'influence des rejets déversés sur la qualité des eaux du site étudié, la composition des eaux de surface et des sédiments superficiels du lac en basses eaux, ainsi que celle des rejets s'y déversant, a été déterminée. L'évolution spatio-temporelle de quelques paramètres physico-chimiques a été suivie sur les eaux prélevées. Les résultats obtenus montrent que les eaux étudiées sont dures et assez chargées en sels dissous et en matière en suspension; elles présentent une minéralisation importante se rapprochant en général des valeurs limites indiquées par la directive de la CEE et la réglementation française et dépassant celles fixées par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS). Les eaux des rejets et des berges du lac ne sont pas conseillées à l'utilisation en irrigation. Les eaux superficielles du lac subissent l'influence néfaste des eaux usées de la ville de Kénitra. L'impact de cette pollution est plus ressenti au niveau des eaux et des sédiments superficiels des berges et s'étend même jusqu'à la zone centrale du lac. La nature des terrains avoisinants le lac contribue aussi à la dégradation de la qualité des eaux du lac, suite au lessivage en période de crue.

Mots-clés : *Lac Merja Fouarate, pollution, eaux usées, composition chimique, eaux de surface, sédiments*

Abstract

Influence of the worn water on the lake surface water and surface sediments composition of the lake Merja Fouarate in Morocco

The site subject of this work is a lake located near an urban center. This depression which communicated with the subjacent ground water became currently a discharge site in which are poured domestic and industrial effluents without any preliminary treatments. The aim of this study is to evaluate the influence of the worn water on the lake water quality. In this way we have determined the lake surface water and the surface sediments composition. The obtained values have been compared to worn water case. The space-time evolution of some physicochemical parameters was monitored. The results obtained show that studied water is rather charged out of dissolved salt and suspended matter. They also show a hard water character, which presents in general bringing closer the limiting values indicated by the directive to the European Communities and the French regulation and exceeding that fixed by the World Health Organization. This leads that water of the rejections and the banks can not be used in the irrigation systems. The surface waters of the lake are subject to the harmful influence of wastewater of Kénitra town. The impact of this pollution is felt more on the level of water and surface sediments of the banks and extends even to the central zone of the lake. The nature of the soil contributes also by following scrubbing in a rainy and rising period.

Keywords: *Lake Merja Fouarate, pollution, wastewater, chemical composition, surface water, sediments*

1. Introduction

La rareté de l'eau au Maroc fait qu'elle doit être bien gérée et économisée. La qualité des eaux de surface de certains cours d'eau a été évaluée [1-8]. La dégradation des eaux est plus accentuée dans le cas des systèmes fermés, lacs par exemple. Constituant des dépressions humides en entretenant des bas marécageux et insalubres [9], les lacs représentent des réserves en eaux menacées par l'expansion urbaine, industrielle et agricole.

Dans ce travail nous nous sommes intéressés au cas du lac "Merja Fouarate" qui est situé au Nord-Est de la ville de Kénitra, au Maroc. Ce lac communique avec la nappe phréatique dite "nappe de la Mamora", dont le niveau piézométrique est au-dessus du sol

[9]. C'est une zone humide dont l'étendue oscille en fonction des apports pluvieux en hiver et de l'évaporation en été. Il constituait auparavant un site naturel où des poissons et des oiseaux, particulièrement migrateur, y trouvaient un milieu favorable à leur vie. Durant ces dernières années, le déversement des rejets domestiques et industriels ainsi que le lessivage des sols cultivés ont pu affecter la qualité des eaux de ce lac.

2. Caractéristiques hydrogéologiques, pédologiques et climatologiques du lac Fouarate

Le lac Fouarate se trouve sur la plaine de Mamora qui est située sur le plan géologique entre la Mesta, massif ancien et stable et le Gharb, plaine subsidente récente [10-11]. Du point de vue de la pédologie, le sol de la plaine est hydromorphe moyennement humifère [12-14]. Située sur la partie occidentale de la nappe d'eau douce, la plaine est une zone côtière de 390 km² alimentant le lac Fouarate lors de son écoulement vers l'océan [12,15-17]. Le lac constitue une dépression ouverte à pentes longitudinales faibles permettant l'écoulement vers l'aval et traversée par un chenal "Oued Fouarate", l'un des principaux cours d'eau de la plaine [9]. Il est en contact avec le principal cours d'eau de la plaine du Gharb, qui est le fleuve "Sebou".

Le lac Merja Fouarate, dont la profondeur varie de 0,5 à 3 m et dont la superficie est de l'ordre de 2 km², est alimenté par les eaux naturelles de la nappe douce Mamora par exfiltration, par l'Oued Sebou à haute marée, par les eaux de ruissellement diffus et par l'Oued Fouarate. Des eaux résiduaires d'une unité industrielle de textile et des égouts urbains sont déversées dans le lac. Par sa situation géographique, le lac est soumis aux mêmes conditions climatiques que celles de la ville de Kénitra. La pluviométrie annuelle moyenne se situait autour de 600 mm pour la période: 1933/63, elle n'est que d'environ 500 mm pour la période 1987/97 avec d'importants écarts interannuels : les extrêmes enregistrés sont de 234 mm en 1994/95 et de 1021 mm en 1995/96. Ces précipitations se répartissent grossièrement en 70 jours pluvieux, essentiellement entre la fin septembre et la fin mars, alors que la sécheresse est pratiquement totale entre le 15 juin et le 15 septembre.

Les températures restent marquées par l'influence océanique avec un froid anormal en hiver et une relative constance des températures estivales (38°C), troublée par quelques coups de chaleur dus au vent chaud du Sud-Est qui souffle en moyenne 35 jours/an; le maximum absolu a atteint 50°C.

L'insolation est d'environ 4400 heures/an, avec presque 60 jours/an de brouillard. L'humidité atmosphérique se situe en permanence autour de 80%, alors que la saturation

nocturne est fréquemment de 100%. L'évaporation potentielle annuelle est de 1400 mm/an, soit plus du double des précipitations [18].

Le contact direct du lac Fouarate avec une agglomération urbaine, les risques de contamination de la nappe phréatique sous-jacente qui alimente toute la région en eau potable, ainsi que le danger de transfert des polluants vers Sebou, l'un des grands fleuves du Maroc, nécessitent une étude détaillée du système.

Notre étude a porté sur la caractérisation physico-chimique de la pollution apportée par les eaux usées, sur la variation spatio-temporelle de la composition des eaux de surface du lac et sur la composition chimique des sédiments superficiels collectés au niveau de différentes stations.

3. Méthodologie

3-1. Choix des sites des prélèvements

La composition des eaux résiduaires est plus ou moins variable selon les journées, les mois et les saisons. Compte tenu de cette variabilité, ainsi que celle des systèmes de transfert et de dilution, il a été difficile de pratiquer une technique de prélèvement satisfaisante et on a eu recours au prélèvement instantané présentant l'avantage de diminuer les risques de précipitation, d'absorption, de concentration ou d'évaporation. Afin d'apprécier l'impact des effluents urbains et industriels sur le lac, deux séries de prélèvements ont été effectuées. Des campagnes de prélèvement, à 40 jours d'intervalle, ont été réalisées pour chacune de ces deux séries.

La première série de prélèvements a pour but le contrôle simultané des rejets et de la qualité des eaux du milieu récepteur, alors que la seconde série a pour objectif l'étude de la variation spatio-temporelle de la composition des eaux prélevées dans la partie centrale du lac. Pour le contrôle simultané de la qualité des eaux, deux campagnes de prélèvement ont été effectuées en mai et juin 1997 et six stations ont été choisies dont trois sont sur les berges du lac (*Figure 1*). Elles sont notées :

B1 : prélèvement en amont des rejets R1, R2 et R3

R1 : prélèvement direct au niveau de l'égout urbain et industriel I.

R2 : prélèvement direct au niveau de l'égout urbain II.

B2 : prélèvement au niveau des berges, en aval de R2 et en amont de R3.

R3 : prélèvement direct au niveau de l'égout urbain III.

B3 : prélèvement au niveau des berges en aval des rejets.

Le choix des stations de prélèvement, pour l'étude de la variation spatio-temporelle de la composition des eaux et des sédiments superficiels du fond du lac, est basé sur la recherche d'un compromis entre les possibilités de prélèvement et la nécessité de rendre compte de l'organisation des différents points de rejet.

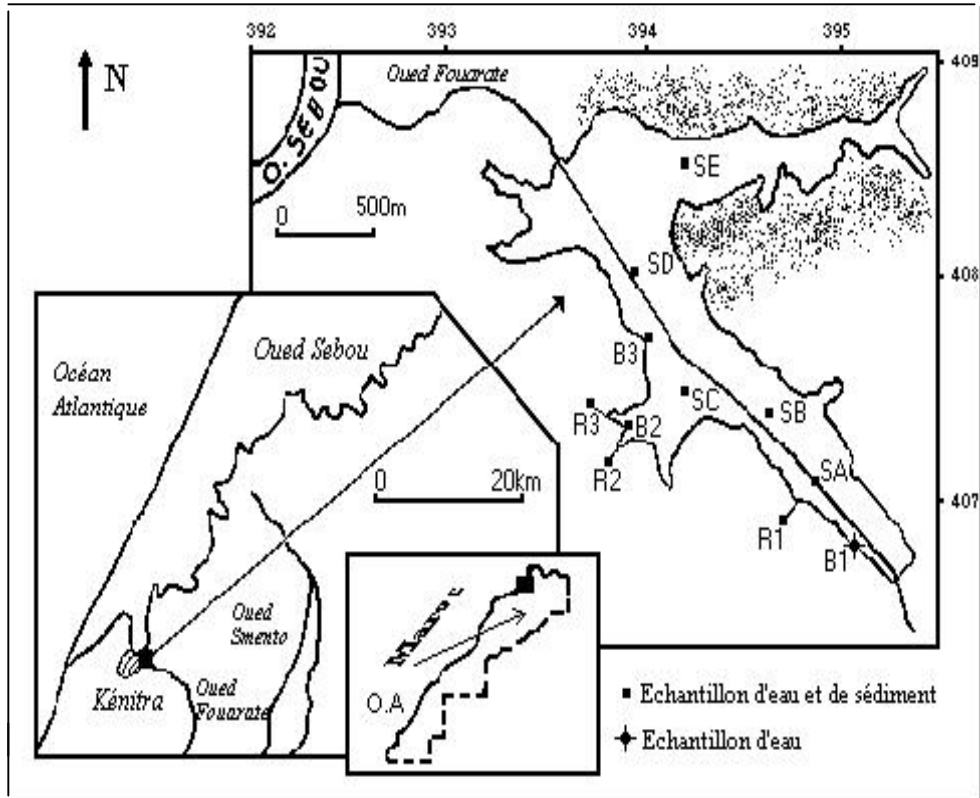


Figure 1 : *Situation géographique du lac Merja Fouarate et localisation des stations de prélèvement d'eau et de sédiment superficiel*

Cinq points situés sur l'axe central du lac ont été retenus, compte tenu du sens de l'écoulement de l'Oued Fouarate, qui se fait du Sud-Est vers le Nord-Ouest (*Figure 1*).

SA : prélèvement en face de l'égout urbain et industriel I (R1).

SB : prélèvement en aval de R1 et en amont des rejets domestiques.

SC : prélèvement en face des égouts urbains II et III (B2).

SD : prélèvement en aval des rejets R1, R2 et R3.

SE : prélèvement du côté des cultures saisonnières.

La première campagne de prélèvement a été effectuée juste à la fin de la crue du mois de février 1998, et la seconde campagne a eu lieu, après 40 jours d'insolation, au mois d'avril.

3-2. Procédure expérimentale

Tous les prélèvements d'eau sont effectués dans des flacons en polyéthylène par remplissage en sub-surface. Les échantillons, conservés à 4°C, sont transportés au laboratoire dans un délai ne dépassant pas 4 heures [19]. Sur ces échantillons nous avons déterminé, selon les normes AFNOR :

- le pH, la matière en suspension (sur une membrane de 0,45 µm), le résidu sec à 180°C, la conductivité et l'alcalinité.

- les teneurs de certains ions : chlorures, sulfates, orthophosphates, nitrates et ions ammonium, analysés respectivement par la méthode de Mohr, néphélométrique et colorimétriques.

- les concentrations en éléments majeurs : calcium, magnésium, sodium et potassium analysés, après minéralisation, par spectrométrie d'absorption atomique [20].

- les concentrations en quelques éléments traces: aluminium, fer et manganèse déterminées, après minéralisation, par spectroscopie d'émission atomique à plasma induit par haute fréquence [21].

Les échantillons des sédiments de la couche superficielle ont été prélevés à l'aide d'une benne à main [22], puis conservés dans des sacs en plastique.

Les solutions des sédiments ont été préparées à partir des échantillons séchés à 105°C, broyés dans un mortier en agate et minéralisés par voie humide (HCl, HF, HNO₃) en système ouvert, avec un chauffage classique à reflux.

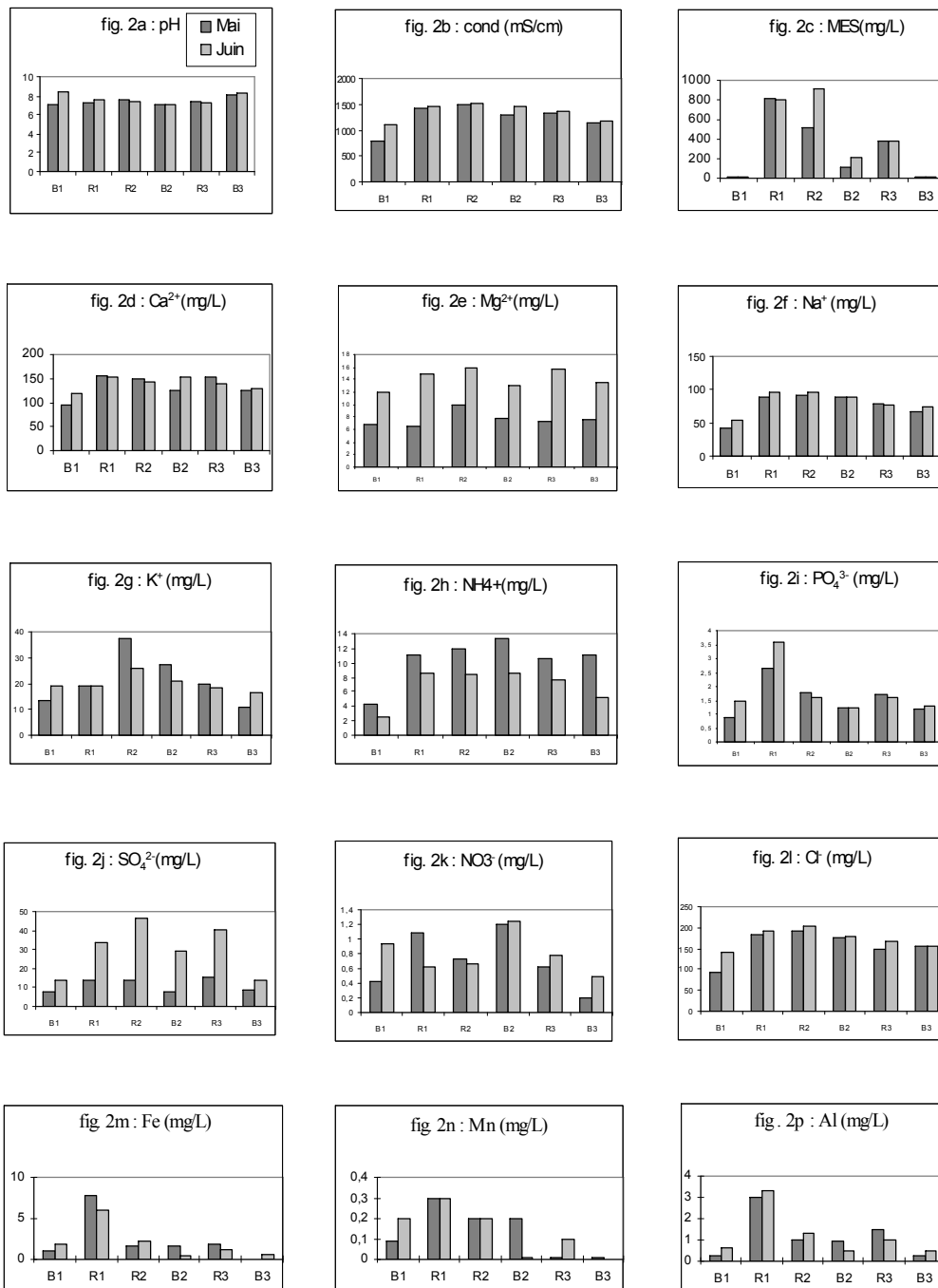


Figure 2 : *Evolution spatio-temporelle de quelques paramètres physico-chimiques dans les eaux des rejets et des berges du lac Merja Fouarate*

4. Résultats et discussion

4-1. Caractérisation de la pollution des eaux usées déversées dans le lac Fouarate

La mesure des paramètres physico-chimiques (pH, conductivité et matières en suspension), et l'analyse des cations majeurs (calcium, magnésium, sodium et potassium), de quelques éléments traces (fer, aluminium et manganèse) et de quelques anions (chlorures, carbonates, sulfates, nitrates et orthophosphates) [23,24], nous ont permis de dégager les observations suivantes :

. Les rejets R1, R2 et R3 sont caractérisés par une faible alcalinité (pH entre 7 et 7,6) (*fig. 2a*) et par une forte minéralisation exprimée par des conductivités de l'ordre de $1500\mu\text{S}/\text{cm}$ (*fig. 2b*). Ces rejets sont chargés en matières en suspension dont le taux peut atteindre $0,9\text{ g/L}$ (R2) (*fig. 2c*).

. L'égout R2 est le plus chargé en magnésium, sodium, potassium (*figs. 2e-2g*), chlorures, sulfates et orthophosphates (*figs. 2i, 2j et 2l*), alors que l'égout R1 est le plus chargé en fer, aluminium et manganèse (*figs. 2m- 2p*). Les teneurs en calcium sont du même ordre pour tous les rejets étudiés (*fig. 2d*).

. Au niveau des berges, les plus fortes teneurs ont été enregistrées, pour les deux campagnes, à la station B2, située en aval des deux rejets R1 et R2 les plus riches en éléments dosés. Ce qui traduit nettement l'impact direct des rejets sur les berges. A l'exception de l'ammonium (*fig. 2h*) dont les teneurs ont baissé même au niveau des rejets, les teneurs en éléments dosés sont plus importantes pour la deuxième campagne et ceci à cause de la concentration des eaux des berges provoquée par l'évaporation. Cependant la concentration des eaux de la station B2 n'est pas remarquable, pour le potassium et les orthophosphates, suite à la diminution de ces éléments dans les rejets.

4-2. Variation spatio-temporelle de la composition des eaux du centre du lac Fouarate

Les résultats des mesures des paramètres physico-chimiques [25] nous permettent de noter que :

- le pH varie de 8,3 à 9,2 en février et de 7,75 à 8,1 en avril; les eaux du lac présentent alors un caractère plus alcalin en période de crue (*fig. 3a*).

- les eaux prélevées du centre du lac sont plus chargées en MES en période de crue, avec des teneurs variant de 8 mg/L (SE) à 96 mg/L (SD).

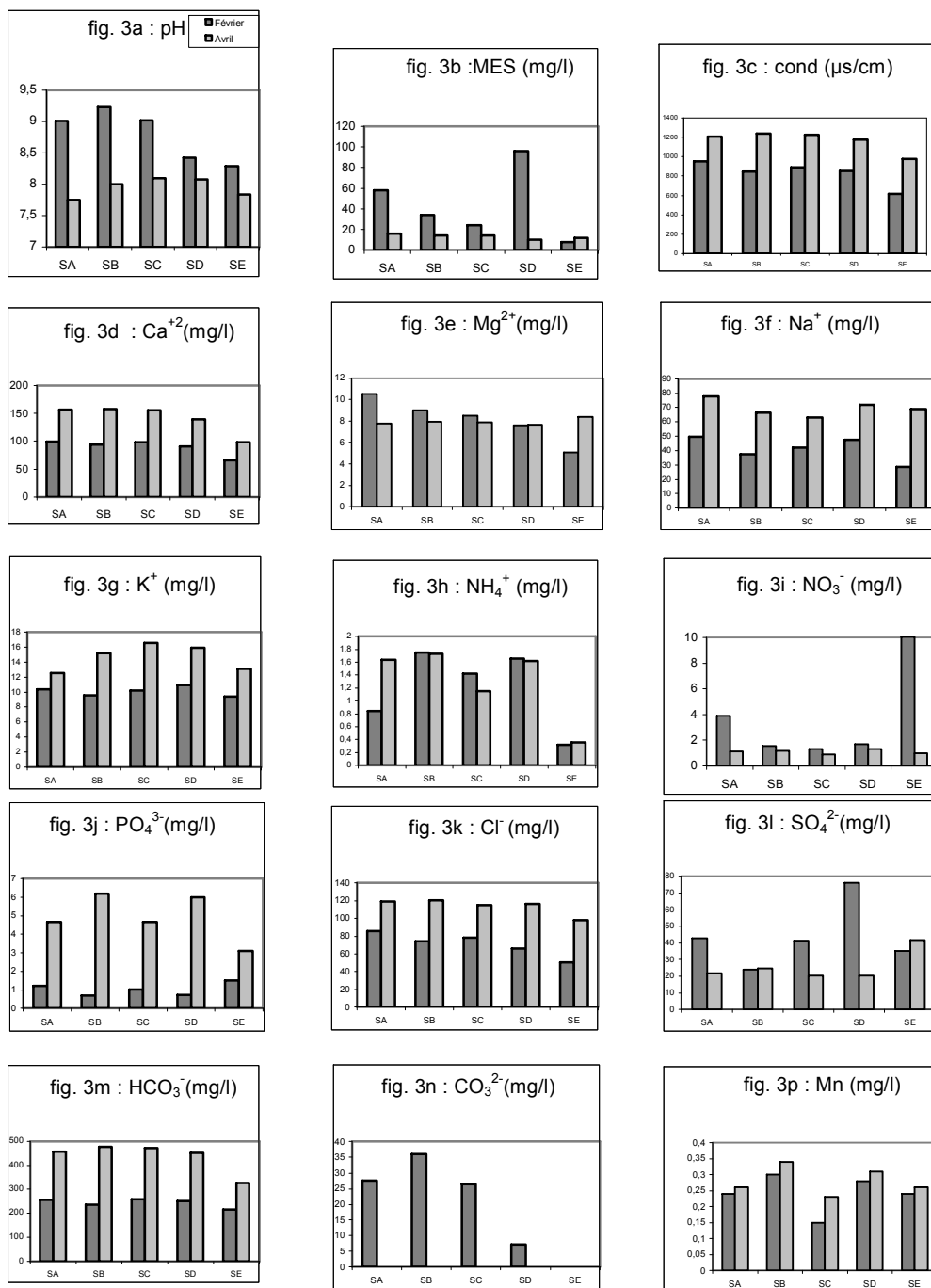


Figure 3 : *Evolution spatio-temporelle de quelques paramètres physico-chimiques dans les eaux du centre du lac Merja Fouarate*

Les valeurs obtenues au mois d'avril varient peu d'une station à l'autre et sont de l'ordre de 13 mg/L, ceci montre l'aspect stagnant du lac en cette période (fig. 3b).

- les plus faibles teneurs de la conductivité ont été enregistrées en période de crue (fig. 3c). Ceci est dû à la grande dilution que connaît le lac suite aux précipitations. Les eaux du centre du lac sont plus chargées en sels dissous pendant la deuxième campagne à cause de la concentration des eaux par évaporation.

- le titre alcalimétrique (TA) varie de 0 à 0,6 meq/L en période de crue, alors qu'il s'annule pour toutes les stations au cours de la deuxième campagne. En revanche, lors de la deuxième campagne, le titre alcalimétrique complet (TAC) subit une augmentation pour toutes les eaux étudiées liée à l'augmentation des teneurs en bicarbonates au dépend des carbonates.

L'étude de la variation spatio-temporelle des teneurs en éléments dosés [26] nous amène à émettre quelques hypothèses quant à leur probable origine.

En considérant la variation temporelle des paramètres étudiés nous remarquons :

- une augmentation des teneurs en calcium (fig. 3d), sodium, potassium (figs. 3f et 3g), manganèse (fig. 3p), chlorures (fig. 3j), et orthophosphates (fig. 3k), par rapport à la période de crue qui pourrait être due à la concentration des eaux par effet d'évaporation. Nous avons aussi noté aussi que les teneurs en orthophosphates, enregistrées lors de la seconde campagne, sont élevées comparées aux teneurs limites de 0,15mg/L pour les eaux stagnantes et de 0,3mg/L pour les eaux courantes [27]. La teneur moyenne en orthophosphates des eaux du lac est aussi supérieure à celle enregistrée dans le lac Léman (39 µg/L en 1999) qui connaissait une eutrophisation maximale [28] et dans le lac *Ichkeul*, où la teneur moyenne de 50µg/L a été considérée comme un signe d'eutrophisation [29]. Cette comparaison nous a permis d'avancer que le lac Fouarate peut être classé parmi les milieux eutrophes.

- une diminution des teneurs en sulfates et en magnésium (figs. 3e et 3l). Cette diminution, notée au niveau de toutes les stations, à part SE, reflète l'aspect naturel de ces apports par lessivage du terrain avoisinant traversé lors du ruissellement. La station SE est proche des terrains agricoles utilisant les sulfates d'ammonium comme fertilisant, alors que les autres stations sont très loin des cultures et subissent l'effet de dilution. Cependant la diminution des teneurs en magnésium est plus marquée à l'aval qu'à l'amont où elle est compensée par les apports des rejets étudiés.

- une augmentation des teneurs en bicarbonates (fig. 3m) et une diminution des pH (fig. 3a) avec disparition des carbonates lors de la deuxième campagne (fig. 3n). Les eaux du centre du lac sont plus alcalines en période de crue à cause du lessivage du terrain riche en calcite.

L'étude de la variation spatiale des paramètres considérés montre que :

- en période de crue les teneurs des éléments calcium (*fig. 3d*), sodium, potassium (*figs. 3f, 3g*), chlorures, sulfates, nitrates et orthophosphates (*figs. 3i-3l*) diminuent de l'amont vers l'aval, avec une légère reprise au niveau des rejets domestiques riches en ces éléments. Ces éléments sont alors apportés par les eaux usées domestiques. Un éventuel apport supplémentaire par lessivage du terrain traversé par l'Oued Fouarate est alors probable.

- lors de la seconde campagne les teneurs en calcium, en magnésium, en chlorures et en sulfates (*figs. 3d, 3e, 3k et 3l*) varient peu d'une station à une autre, alors que celles du sodium, potassium et des orthophosphates (*figs. 3f, 3g et 3j*) marquent une légère hausse au niveau des rejets traduisant la contribution de ces derniers dans la composition des eaux du lac Fouarate.

- les plus importantes teneurs en manganèse (*fig. 3p*) ont été enregistrées, pour les deux campagnes, à l'aval du rejet urbain industriel R1 riche en ce métal. Les eaux usées de ce rejet constitueraient la source principale de l'enrichissement des eaux du lac en cet élément.

4-3. Faciès hydrochimique des eaux

4-3-a. Diagramme de Piper

La composition ionique des différentes eaux étudiées est représentée sur les *Tableaux 1, 2, 3 et 4*. Les pourcentages relatifs en éléments caractéristiques et principaux sont reportés sur les *Tableaux 5, 6, 7 et 8*.

Les diagrammes de PIPER relatifs à ces eaux (*figs. 4 et 5*) nous ont permis de constater que toutes les eaux étudiées sont bicarbonatées calciques. Cependant, la richesse des rejets en chlorures place leurs eaux, ainsi que celles des berges, très proches des eaux chlorurées calciques. Ceci permet d'avancer qu'une légère fluctuation de la composition des rejets peut engendrer le passage d'une classe à l'autre. Les eaux des berges varient étroitement avec la composition des rejets alors que les eaux du centre du lac gardent leur faciès bicarbonaté calcique caractéristique des eaux de la nappe *Mamora*.

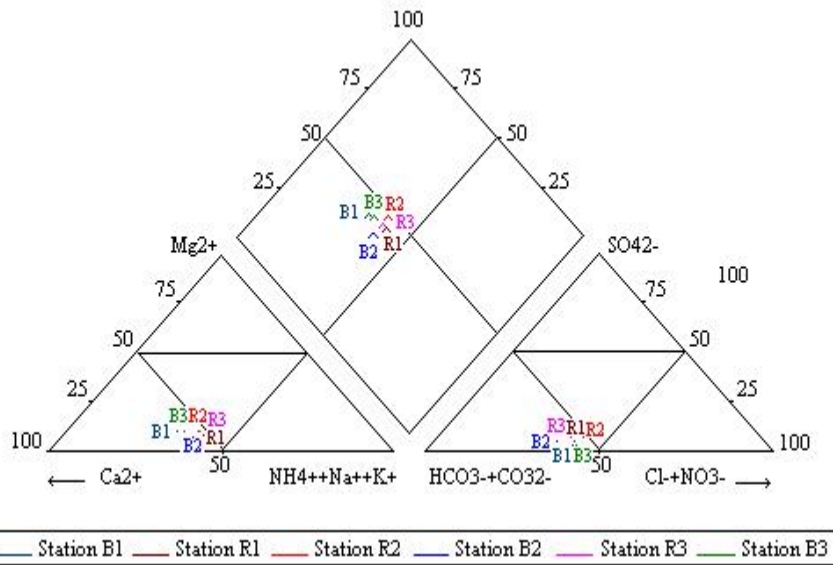


Figure 4 : Représentation de la composition chimique des eaux des rejets et des berges du lac Merja Fouarate dans le diagramme de Piper (Juin 1997)

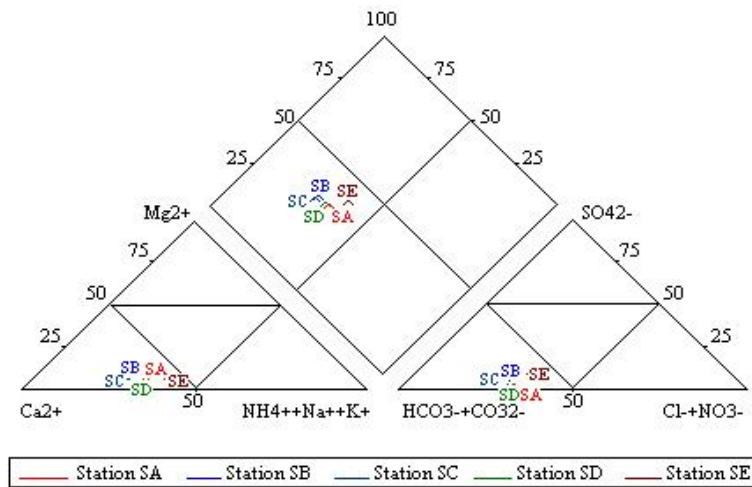


Figure 5 : Représentation de la composition chimique des eaux du centre du lac Merja Fouarate dans le diagramme de Piper (Avril 1998)

4-3-b. Diagrammes logarithmiques

La représentation sur le diagramme logarithmique de la composition chimique des eaux étudiées permet d'aboutir aux mêmes conclusions que précédemment à savoir que

les eaux du centre du lac sont bicarbonatées calciques, avec un léger caractère chloruré pour les eaux des rejets et des berges (figs. 6 et 7).

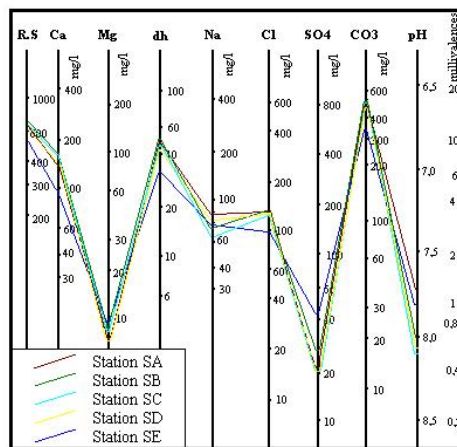
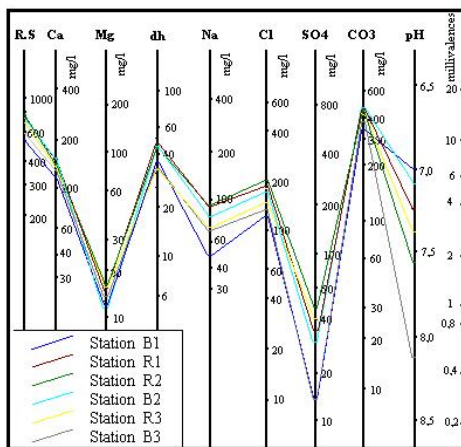


Figure 6 : Diagramme logarithmique de l'analyse ionique des eaux des rejets et des berges du lac Merja Fouarate (Mai 1997)

Figure 7 : Diagramme logarithmique de l'analyse ionique des eaux du centre du lac Merja Fouarate (Avril 1998)

Tableau 1: Composition chimique des eaux des rejets et des berges pendant la campagne de Mai 1997

	Ca ²⁺ Mg/L	Mg ²⁺ Mg/L	K ⁺ Mg/L	Na ⁺ Mg/L	NH ₄ ⁺ mg/L	CO ₃ ²⁻ mg/L	HCO ₃ ⁻ mg/L	Cl ⁻ Mg/L	NO ₃ ⁻ mg/L	SO ₄ ²⁻ mg/L	PO ₄ ³⁻ mg/L	TH °F	R.S mg/L
B1	94,0	6,86	13,06	40,8	4,18	00	274,6	92,3	0,43	7,84	0,90	26,6	392,7
R1	155,1	6,54	19,90	89,1	11,17	00	451,4	183,3	1,09	13,52	2,64	44,0	705,5
R2	148,0	9,82	37,73	91,4	11,88	00	481,9	191,7	0,74	13,44	1,75	41,7	745,1
B2	127,0	7,77	20,04	89,0	13,31	00	433,1	175,7	1,20	8,04	1,25	35,6	663,7
R3	151,2	7,30	19,63	78,1	10,56	00	475,8	149,1	0,62	15,40	1,69	41,7	669,3
B3	125,4	7,55	10,85	67,4	11,04	00	378,2	154,4	0,19	8,64	1,16	34,5	576,7
	Ca ²⁺ me/L	Mg ²⁺ me/L	K ⁺ me/L	Na ⁺ Me/L	NH ₄ ⁺ me/L	CO ₃ ²⁻ me/L	HCO ₃ ⁻ me/L	Cl ⁻ me/L	NO ₃ ⁻ me/L	SO ₄ ²⁻ me/L	PO ₄ ³⁻ me/L	Anions me/L	Cations me/L
B1	4,70	0,56	0,33	1,77	0,232	00	4,50	2,61	0,007	0,16	0,029	7,31	7,59
R1	7,74	0,54	0,51	3,87	0,621	00	7,40	5,17	0,018	0,28	0,083	12,98	13,23
R2	7,40	0,80	0,97	3,97	0,660	00	7,90	5,4	0,012	0,28	0,055	13,65	13,80
B2	6,35	0,64	0,51	3,87	0,739	00	7,10	4,95	0,019	0,17	0,039	12,33	12,11
R3	7,54	0,60	0,50	3,40	0,586	00	7,80	4,20	0,010	0,32	0,053	12,38	12,63
B3	6,27	0,62	0,28	2,93	0,614	00	6,20	4,35	0,003	0,18	0,037	10,77	10,71

La composition des eaux des berges en aval suit de près celle des rejets alors que les berges en amont présentent une composition différente. Les eaux du centre du lac sont plus chargées en sels dissous lors de la deuxième campagne et leur composition diffère peu d'une station à l'autre, à comparer avec celle des eaux en pleine crue où la station SE est la moins chargée compte tenu de sa situation.

Tableau 2: *Composition chimique des eaux des rejets et des berges pendant la campagne de Juin 1997*

	Ca ²⁺ mg/L	Mg ²⁺ mg/L	K ⁺ mg/L	Na ⁺ mg/L	NH ₄ ⁺ mg/L	CO ₃ ²⁻ mg/L	HCO ₃ ⁻ mg/L	Cl ⁻ mg/L	NO ₃ ⁻ mg/L	SO ₄ ²⁻ mg/L	PO ₄ ³⁻ mg/L	TH °F	R.S mg/L
B1	118,6	12,02	18,90	54,0	2,53	15,6	311,1	142,0	0,93	13,58	1,48	35,2	539,7
R1	151,0	14,83	19,30	95,0	8,53	00	451,4	190,6	0,62	33,60	3,56	46,1	741,1
R2	142,8	15,98	26,12	96,7	8,30	00	433,1	204,1	0,67	46,27	1,61	43,1	756,5
B2	154,1	11,64	20,93	87,8	8,64	00	457,5	179,3	1,24	29,52	1,22	44,1	723,7
R3	139,0	15,72	18,59	76,5	7,74	00	420,9	168,6	0,77	40,32	1,58	37,3	676,9
B3	127,5	13,47	16,24	74,2	5,22	00	356,3	158,0	0,50	13,43	1,32	37,7	589,7
	Ca ²⁺ me/L	Mg ²⁺ me/L	K ⁺ me/L	Na ⁺ me/L	NH ₄ ⁺ me/L	CO ₃ ²⁻ me/L	HCO ₃ ⁻ me/L	Cl ⁻ me/L	NO ₃ ⁻ me/L	SO ₄ ²⁻ me/L	PO ₄ ³⁻ me/L	Anions me/L	Cations me/L
B1	5,93	0,99	0,48	2,35	0,140	0,52	5,10	4,00	0,015	0,293	0,047	9,98	9,89
R1	7,55	1,22	0,50	4,13	0,474	00	7,40	5,37	0,010	0,700	0,113	13,59	13,87
R2	7,14	1,31	0,67	4,20	0,461	00	7,10	5,75	0,011	0,964	0,051	13,88	13,78
B2	7,70	0,96	0,54	3,82	0,480	00	7,50	5,05	0,020	0,615	0,039	13,22	13,50
R3	6,95	1,29	0,48	3,33	0,430	00	6,90	4,75	0,012	0,840	0,050	12,55	12,48
B3	6,37	1,11	0,42	3,23	0,290	00	5,84	4,45	0,008	0,280	0,042	10,62	10,64

Tableau 3: *Composition chimique des eaux centrales du lac pendant la campagne de Février 1998*

	Ca ²⁺ mg/L	Mg ²⁺ mg/L	K ⁺ mg/L	Na ⁺ mg/L	NH ₄ ⁺ mg/L	CO ₃ ²⁻ mg/L	HCO ₃ ⁻ mg/L	Cl ⁻ Mg/L	NO ₃ ⁻ mg/L	SO ₄ ²⁻ mg/L	PO ₄ ³⁻ mg/L	TH °F	R.S mg/L
SA	99,2	10,6	10,32	49,7	0,86	27,60	256,2	86,1	3,91	42,93	1,22	31,5	464,5
SB	94,1	9,0	9,58	37,4	1,75	36,00	235,5	74,1	1,55	23,91	0,68	29,5	407,9
SC	98,4	8,5	10,28	42,1	1,42	26,40	246,6	78,1	1,30	41,40	1,03	30,1	434,8
SD	90,4	7,6	10,97	47,4	1,66	7,20	248,9	66,1	1,67	76,06	0,73	27,7	436,7
SE	73,4	5,1	9,36	28,6	0,32	00	214,7	50,1	10,04	35,28	1,49	20,5	322,1
	Ca ²⁺ me/L	Mg ²⁺ me/L	K ⁺ me/l	Na ⁺ me/L	NH ₄ ⁺ me/L	CO ₃ ²⁻ me/L	HCO ₃ ⁻ me/L	Cl ⁻ Me/L	NO ₃ ⁻ me/L	SO ₄ ²⁻ me/L	PO ₄ ³⁻ me/L	Anions me/L	Cations me/L
SA	4,96	0,87	0,26	2,16	0,048	0,92	4,20	2,43	0,063	0,89	0,038	8,54	8,30
SB	4,70	0,74	0,25	1,62	0,097	1,20	3,86	2,09	0,025	0,50	0,021	7,70	7,41
SC	4,91	0,70	0,26	1,83	0,079	0,88	4,04	2,20	0,021	0,86	0,032	8,00	7,78
SD	4,52	0,62	0,28	2,06	0,092	0,24	4,08	1,86	0,027	1,58	0,023	7,81	7,57
SE	3,67	0,42	0,24	1,24	0,018	00	3,53	1,41	0,162	0,74	0,047	5,89	5,59

Tableau 4: *Composition chimique des eaux centrales du lac pendant la campagne d'Avril 1998*

	Ca ²⁺ mg/L	Mg ²⁺ mg/L	K ⁺ mg/L	Na ⁺ mg/L	NH ₄ ⁺ mg/L	CO ₃ ²⁻ mg/L	HCO ₃ ⁻ mg/L	Cl ⁻ mg/L	NO ₃ ⁻ mg/L	SO ₄ ²⁻ mg/L	PO ₄ ³⁻ mg/L	TH °F	R.S mg/L
SA	136,2	7,65	12,56	77,9	1,64	00	456,3	119,2	1,12	21,82	4,67	45,5	610,8
SB	156,2	8,07	15,16	66,1	1,73	00	475,8	120,2	1,18	24,67	6,18	46,2	635,1
SC	151,5	7,88	16,51	62,9	1,15	00	470,9	115,1	0,87	20,40	4,65	45,1	614,7
SD	139,1	7,63	15,88	71,9	1,62	00	451,5	116,2	1,30	20,40	5,97	41,0	603,2
SE	98,4	8,37	13,05	68,9	0,36	00	324,5	98,1	0,99	41,77	3,07	29,8	492,9
	Ca ²⁺ me/L	Mg ²⁺ me/L	K ⁺ me/L	Na ⁺ me/L	NH ₄ ⁺ me/L	CO ₃ ²⁻ me/L	HCO ₃ ⁻ me/L	Cl ⁻ me/L	NO ₃ ⁻ me/L	SO ₄ ²⁻ me/L	PO ₄ ³⁻ me/L	Anions me/L	Cations me/L
SA	6,81	0,63	0,32	3,38	0,091	00	7,48	3,36	0,018	0,46	0,148	11,47	11,23
SB	7,81	0,67	0,39	2,87	0,096	00	7,80	3,38	0,019	0,51	0,195	11,90	11,84
SC	7,58	0,65	0,42	2,73	0,064	00	7,72	3,24	0,014	0,43	0,147	11,55	11,44
SD	6,94	0,65	0,41	3,12	0,090	00	7,40	3,27	0,021	0,43	0,198	11,32	11,21
SE	4,92	0,54	0,33	2,99	0,020	00	5,32	2,77	0,016	0,87	0,097	9,07	8,80

Tableau 5: *Les pourcentages relatifs en éléments caractéristiques et principaux dans les eaux des rejets et des berges pendant la campagne de mai 1997*

	% Ca ²⁺	% Mg ²⁺	%K ⁺ +Na ⁺ +NH ₄ ⁺	%CO ₃ ²⁻ +HCO ₃ ⁻	%Cl ⁻ +NO ₃ ⁻ +PO ₄ ³⁻	%SO ₄ ²⁻
B1	61,9	9,0	29,1	60,6	37,1	2,3
R1	58,3	4,1	37,3	57,0	40,8	2,2
R2	53,6	5,8	40,6	57,9	40,0	2,1
B2	51,7	5,2	43,1	57,6	41,0	1,4
R3	59,7	4,8	35,5	63,0	34,4	2,6
B3	58,5	5,8	35,7	57,6	40,7	1,7

Tableau 6: *Les pourcentages relatifs en éléments caractéristiques et principaux dans les eaux des rejets et des berges pendant la campagne de juin 1997*

	% Ca ²⁺	% Mg ²⁺	%K ⁺ +Na ⁺ +NH ₄ ⁺	%CO ₃ ²⁻ +HCO ₃ ⁻	%Cl ⁻ +NO ₃ ⁻ +PO ₄ ³⁻	% SO ₄ ²⁻
B1	58,1	9,7	32,2	56,2	40,9	2,9
R1	51,6	8,3	40,0	54,5	40,3	5,2
R2	51,8	9,5	38,7	50,9	42,2	6,9
B2	54,8	6,8	38,4	59,5	35,8	4,7
R3	51,7	9,6	38,7	54,7	38,6	6,7
B3	55,8	9,7	35,5	54,9	42,5	2,6

Tableau 7: Les pourcentages relatifs en éléments caractéristiques et principaux dans les eaux du centre du lac pendant la campagne de février 1998

	% Ca ²⁺	% Mg ²⁺	% K ⁺ + Na ⁺ + NH ₄ ⁺	% CO ₃ ²⁻ + HCO ₃ ⁻	% Cl ⁻ + NO ₃ ⁻ + PO ₄ ³⁻	% SO ₄ ²⁻
SA	59,8	10,5	29,7	60,0	29,6	10,4
SB	63,4	10,0	26,6	65,7	27,8	6,5
SC	63,1	9,0	27,9	62,0	27,2	10,8
SD	59,7	8,2	32,1	55,3	24,8	20,2
SE	65,7	7,5	26,8	59,9	27,5	12,6

Tableau 8: Les pourcentages relatifs en éléments caractéristiques et principaux dans les eaux du centre du lac pendant la campagne d'avril 1998

	% Ca ²⁺	% Mg ²⁺	% K ⁺ + Na ⁺ + NH ₄ ⁺	% CO ₃ ²⁻ + HCO ₃ ⁻	% Cl ⁻ + NO ₃ ⁻ + PO ₄ ³⁻	%SO ₄ ²⁻
SA	60,6	5,6	33,8	65,2	30,8	4,0
SB	66,0	5,7	28,4	65,5	30,2	4,3
SC	66,3	5,7	28,0	66,8	29,5	3,7
SD	61,9	5,8	32,3	65,4	30,8	3,8
SE	55,9	6,1	38,0	58,7	31,7	9,6

4.4. Composition des sédiments superficiels

Les matières en suspension, en tant qu'agents vecteurs de nombreux éléments, favorisent, après leur dépôt, l'accumulation des polluants dans les sédiments. La connaissance de la concentration des différents éléments dans le sédiment est nécessaire dans l'évaluation de l'impact de la pollution sur le milieu aquatique.

Les teneurs de quelques éléments dans les sédiments de surfaces prélevés aux stations relatives aux rejets, aux berges et aux stations du centre du lac sont regroupées dans le *Tableau 9*. Les résultats obtenus permettent de noter que :

- au niveau des rejets, c'est le sédiment prélevé au niveau de la station R1 qui est le plus riche en Al, Fe, Ti, K et Mn alors que celui collecté au niveau de la station R2 est le plus riche en Ca et Na. La plus grande teneur en magnésium a été obtenue pour le sédiment prélevé au niveau de la station R3. Les métaux lourds déversés par l'égout urbain et industriel R1 sont alors accumulés dans le sédiment correspondant.

- au niveau des berges, le sédiment récolté à la station B2 présente les teneurs les plus faibles pour tous les éléments. Ce sédiment est caractérisé par une grande perte au

feu due à l'existence d'une décharge incontrôlée à proximité de la station B2. Les grandes teneurs en éléments dosés sont obtenues à l'aval des rejets (B3), ce qui est dû au transport, par l'écoulement, des différents éléments déversés par les rejets.

- L'analyse comparée des teneurs en éléments étudiés dans les sédiments superficiels des stations du centre de la Merja fait apparaître trois groupes d'éléments, chacun se caractérisant par un comportement particulier :

- 1^{er} groupe : Mn et Ca varient peu sur l'axe central du lac, cependant la teneur en Ca double au niveau du sédiment récolté à la station SE. Les sédiments prélevés à la station SE sont plus riches en calcite.

- 2^e groupe : Mg, Na, K, Al et Ti dont les teneurs maximales et minimales sont enregistrées respectivement en SD et SE. La station SD est située en aval des rejets R1 et R2 riches en ces éléments, alors que la station SE est loin du sens de l'écoulement des eaux.

- 3^e groupe : Fe et Mn dont les concentrations maximales caractérisent la station SB, située à l'aval du rejet urbain et industriel R1 riche en Fe et Mn.

Les interactions sédiments-cation métallique régissent le comportement des métaux, leur distribution dans la phase solide et leur transfert dans l'eau en faisant intervenir plusieurs phénomènes de surface: précipitation, co-précipitation et adsorption. Les différents éléments rejetés par les rejets peuvent donc s'accumuler dans les sédiments comme ils peuvent être entraînés avec l'écoulement des eaux et s'accumuler plus loin; ils sont alors soumis à un gradient horizontal en plus du gradient vertical; ce qui peut expliquer les grandes teneurs obtenues au niveau du sédiment superficiels des stations B3 et SD.

Tableau 9: *Teneurs en ppm de quelques éléments dans les sédiments superficiels prélevés à proximité des rejets, aux berges (mai 1977) et aux stations du centre du lac (avril 1998)*

	Ca	Mg	Na	K	Al	Fe	Ti	Mn
R1	51052	6331	6455	4979	23294	10815	2400	310
R2	59452	7115	7048	3817	18847	8645	2340	232
B2	11007	3618	5712	1327	7094	3010	1140	37
R3	45548	8140	5490	2738	17312	8050	1980	155
B3	110213	7175	5712	4481	25465	14420	2332	542
SA	94973	5927	2019	5521	35989	27298	2029	359
SB	93917	5404	2169	7559	52354	36793	2496	475
SC	98833	6331	2224	7188	43109	29162	2214	405
SD	95825	9565	3593	12416	61110	32433	2890	377
SE	162870	4911	1963	5589	33833	19044	1466	364

5. Conclusion

Dans le but de déterminer l'influence des rejets déversés dans le lac Merja Fouarate, la composition des eaux de surface et des sédiments superficiels du site en basses eaux ainsi que celle des rejets s'y déversant a été déterminée. L'évolution spatio-temporelle de quelques paramètres physico-chimiques a été suivie.

Les résultats obtenus montrent que les eaux du lac sont d'une qualité assez dégradée par rapport aux normes internationales, avec une certaine hétérogénéité dans leur composition et que l'impact de la pollution apportée par les eaux déversées est plus ressenti au niveau des eaux des berges et s'étend même jusqu'au centre du lac. Les eaux du centre du lac sont dures et présentent une minéralisation importante à élevée rapprochant en général les valeurs limites de la conductivité indiquées par la directive de la CEE et la réglementation française et dépassant celles fixées par l'O.M.S [19]. Les eaux des berges ne peuvent être utilisées dans l'irrigation sans traitement préalable.

L'influence des éléments Fe, Al, Ti et Mn rejetés par l'égout urbain et industriel R1 se fait sentir juste à son aval, au niveau des eaux des berges B2 et sur les sédiments superficiels des deux stations R1 et B2, et elle s'étend même aux eaux et aux sédiments de la station centrale SB. La richesse des rejets domestiques R2 et R3 en Na et Mg se répercute sur les eaux et les sédiments superficiels en aval des rejets, aussi bien sur les berges que sur l'axe central du lac.

L'impact de la pollution apportée par les différents rejets est plus marqué sur les sédiments prélevés à la sortie des égouts. Il s'étend même aux eaux de surface et aux sédiments superficiels à l'aval des rejets, aussi bien sur les berges qu'au centre du lac.

Cette étude permet de montrer que l'impact des eaux déversées est plus ressenti au niveau des berges dont la composition des eaux et des sédiments est directement liée à celle des rejets, alors que celle des eaux et des sédiments du centre du lac est influencée à la fois par la qualité des rejets et par la nature des sols traversés lors des ruissellements des pluies lors des crûes.

La partie Nord-Est du lac se trouve plus ou moins épargnée de l'influence des rejets grâce à sa position éloignée des égouts et du sens de l'écoulement de l'Oued Fouarate. La seule connaissance des teneurs des éléments déterminées sur les sédiments ne peut permettre de trancher sur l'origine des apports. Le dosage des métaux, dans les sédiments, revêt un aspect qualitatif en plus de son caractère quantitatif. En effet, l'appréciation de leur degré de contamination devrait faire la part de ce qui provient effectivement des rejets, de la disponibilité de ces éléments vis à vis des autres composantes du sol et surtout de la possibilité de remobilisation des métaux à partir des

substrats. Il s'avère alors, que pour compléter cette étude, il est nécessaire de déterminer les caractéristiques minéralogiques des sédiments étudiés; à savoir le taux de calcite et de la fraction argileuse, les différents types d'argile ainsi que le pourcentage en argile échangeuse d'ions. L'évaluation de la contamination par les métaux nécessite la connaissance des teneurs de référence déterminées à partir du sédiment d'un site dépourvu de toute pollution, situé en amont des zones polluées.

Références

- [1] - S. AZZAOU, M. EL HANBALI et A. BEN MOHAMMADI, « *Fractionnement chimique du Chrome, Cuivre et Zinc dans les dépôts alluviaux de l'oued Sebou* ». Africa Geoscience Review, Vol. 5, N° 1 & 2 (1998) 123-127
- [2] - S. AZZAOU, « *Les métaux lourds dans le bassin versant du Sebou : géochimie, sources de pollution et impact sur la qualité des eaux de surface* ». Thèse Doct. Univ. Ibno Tofail.(1999) 135 p.
- [3] - H. BENBOUIH, Z. BENABDELLAH et A. SRHIRI, « *Contribution à l'étude de l'absorption du phosphore sur les sédiments de l'estuaire de l'Oued Sebou au Maroc* ». Africa Géoscience Review. Vol. 6, No 3 (1999) pp. 283-289.
- [4] - H. BEN BOUIH, « *Contribution à l'évaluation de la pollution métallique des zones humides de la région du Gharb-Cas du lac Fouarate* ». Thèse Doct. Univ. Ibno Tofail. (2000) 146 p.
- [5] - L. BENNASSER, M. FEKHAOUI, J.L. BENOIT-GUYOD et G. MERLIN, « *Influence de la marée sur la qualité du bas Sebou soumis aux rejets de la plaine du Gharb-Maroc* ». Wat. Res. Vol. 31, No. 4 (1997) pp. 859-867
- [6] - L. BENNASSER, « *Diagnostic de l'état de l'environnement dans la plaine du Gharb : "Suivi de la macro-pollution et ses incidences sur la qualité hydrochimique et biologique du bas Sebou"* ». Th. Doct. Etat. . Univ. Ibno Tofail. (1997) 177 p.
- [7] - M. BOUACHRINE, M. FEKHAOUI, L. BENNASSER et L. IDRISSE, "Distribution of selected metals in tissue sample of fish from an industrially contaminated stream -The River Sebou, Morocco", Acta hydrobiol., 40, 3 (1998) pp. 173-179
- [8] - L. SAGE, L. BENNASSER, R. STEIMAN et F. SEIGLE-MURANDA, "Fungal microflora biodiversity as a function of pollution in oued Sebou- Morocco". Chemosphere, Vol. 35, No.4 (1997) 751-759

- [9] - J. P. THAUVIN, « *Monographie hydrogéologique de la Mamora. Notes et Mémoires du Service géologique* », N° 195 (1966) Maroc, 94p.
- [10] - M. GIGOUT, « *Etudes géologiques sur la Meseta marocaine occidentale* ». Notes et Mémoires du Service géologique, N° 86 (1951), Maroc, 25p
- [11] - O. TSCHELTZOFF et J. HEDELMAN, « *Formation côtière de la plaine de Rharb marocain* ». 19ième Congrès géologique international, Alger 1952, publ. 1953, sect. 13, fasc. 15 (1953) pp. 277- 287
- [12] - « *Hydrogéologie du Maroc, plaine du Rharb et région de la Mamora* ». Notes et mémoires du Service géologique, N° 97 (1952) pp. 153-167, BOLELLI éd., Maroc, 1952.
- [13] - P. DIVOUX, « *Carte des sols du Rharb* ». Tirage Dorel, INRA, Rabat, 1959
- [14] - H. FARAJ, « *Carte de reconnaissance des sols de Maâmora Nord* ». INRA, Rabat, 1963
- [15] - M. COMBE, « *Le bassin Rharb-Mamora* ». Rapport MTPC/DH/ DRE, (1965) p. 27.
- [16] - M. COMBE, « *Hydrogéologie du Rharb et de la Mamora* », Congrès Pédologique Méditerranéen, Madrid (1966)
- [17] - M. COMBE, « *Le bassin Rharb-Mamora, in Ressources en eau du Maroc-Plaine et bassins du Maroc atlantique* ». Notes et Mémoires du Service géologique, Maroc, N° 231 (1975) 93-128
- [18] - J. EMON, « *L'évaporation au Maroc* ». A. Serv. Phys. Globe et Météorol. , t. 17 (1975) pp. 87-102.
- [19] - J. RODIER, « *L'analyse de l'eau* », DUNOD, 8^e édition, Paris (1996)
- [20] - V. PARKER V., " *Water Analysis by Atomic Absorption Spectrometry*", Techtron. Pty. Ltd, Springrale Australia, (1989) p. 21
- [21] - K. ALAND et F.W.GORDAN, Atomic spectroscopy, Vol 6, N 1 (1985) pp. 4-8
- [22] - Z.B.S. KRUMGAL, " *Unusual grains size effect on trace metals and organic matter in contaminated sediment*", Mar. Poll. Bull, Vol. 20 (1989) pp. 608-611
- [23] - H. BEN BOUIH, S.AZZOUZI, H. NASSALI, A. SRHIRI et M. EL HANBALI, " *Evaluation de la pollution du lac de la Merja Fovarate*", Congrès International sur la Gestion des rejets Industriels pour un Développement Durable, 10 - 12 septembre (1997), El Jadida (Maroc)

- [24] - H. BEN BOUIH, S. AZZAQUI, H. NASSALI, A. SRHIRI et M. EL HANBALI, « *Variation spatiale de la composition en métaux du lac Fouarate à Kénitra* », Second Mediterranean Basin Conference on Analytical Chemistry, Rabat, 23 - 28 Novembre (1997) p. PI-93
- [25] - H. NASSALI, H. BEN BOUIH et A. SRHIRI, « *Impact des rejets sur la qualité des eaux de la Merja Fouarate à Kénitra* », Deuxième Colloque International sur l'Environnement, Catalyse et Génie des Procédés, 18 - 19 mai (1998), Fès.
- [26] - H. NASSALI, H. BEN BOUIH et A. SRHIRI, « *Evaluation du risque de contamination de la Merja Fouarate par les eaux usées de la ville de Kénitra* », Séminaire International sur l'équation : Ressources en Eau-Environnement Quel Avenir ? , 22 -23 octobre (1998), Tunis, p. 37
- [27] - M. NISBET et J. VERNEAUX, « *Composantes chimiques des eaux courantes* », Ann. Limnol. , 6(2) (1970) pp. 121-130
- [28] - A. RAPIN, P. BLANC et C. CORVEC, « *Influence des apports sur le stock de phosphore dans le lac Léman et sur l'eutrophisation* », Revue Sciences de l'Eau Vol. 2 (1989) pp. 721-737
- [29] - N. BEN M'BAREK, « *Impact des ouvrages sur l'équilibre de l'écosystème : lac Ichkeul* », Rapport de DEA, Université de Tunis II (1995) 100p.