



Le climat et les contraintes hydrologiques sur le comportement du fer et du manganèse dans le barrage Smir (Tétouan Maroc) Climate and hydrological constraints on behavior iron and manganese in Smir dam (Tetouan Morocco)

H. Erraji^{1*}, K. El kacimi², A. Bellaouchou³, M. Fekhaoui⁴ et A. El abidi⁵

1, 2, 3. Département de chimie, Université Mohammed V –Faculté des sciences, Rabat - Maroc.

4. Institut scientifique, Université Mohammed V, Rabat - Maroc.

5. Institut National d'Hygiène, Laboratoire d'Hydrologie et de Toxicologie de l'Environnement et de l'Hygiène Industrielle, Rabat - Maroc.

Received 04 Feb 2015, Revised 16 June 2015, Accepted 16 June 2015

**Auteur correspondant. E-mail: errajimiggee@hotmail.fr*

Résumé

Le fer et le manganèse sont des métaux de transition qui peuvent se complexer dans l'eau avec des composés organiques ou inorganiques et/ou rester librement suite aux conditions biotiques et abiotiques de la retenue du barrage. Leurs présences dans les sources d'approvisionnement en eau sont influencées en général par des facteurs naturels et/ou anthropiques. L'évaluation des contraintes climatiques et hydrologiques sur le comportement du fer et manganèse dans les barrages au Maroc a été réalisée à travers l'exemple du barrage Smir par le suivi spatio-temporel des paramètres physicochimiques. Les résultats obtenus nous ont permis de mieux comprendre le comportement et la spéciation de ces éléments dans ce barrage.

Mots clés : Fer, Manganèse, Spéciation Barrage Smir, Maroc.

Abstract

Iron and manganese are transition metals that can be complexed in water with organic or inorganic compounds and / or stay freely in response to biotic and abiotic conditions of the dam. Their presence in the sources of water supply in general are influenced by natural and / or man. The approach to climate and hydrological constraints on the behavior of iron and manganese in dams in Morocco was conducted by Smir dam monitoring spatiotemporal physicochemical parameters. These results have allowed us to understand the behavior and speciation of these elements in the dam.

Keywords: Iron, Manganese, Speciation, Smir Dam, Morocco.

1. Introduction

La qualité de l'eau est définie par son contenu chimique, physique et biologique. Elle dépend de nombreux facteurs provenant souvent des caractéristiques de la nature elle-même. Eventuellement, le fer (Fe) et le manganèse (Mn) qui sont présents en quantités très importantes dans l'environnement, ils peuvent générer plusieurs problèmes de gestion et des usages des eaux de stockage au niveau du barrage, de traitement au niveau des usines et au niveau du réseau de distribution [1-2].

C'est le cas de plusieurs barrages au Maroc en particulier le barrage Abd El karim khattabi où les valeurs relevées du manganèse dépassent la norme de 0,05 à 5,6 mg/l [3] et le barrage Sidi Mohammed Ben Abdellah surtout en période de stratifications thermique [4] dont les concentrations en fer et manganèse dépassent les normes conventionnelles [5].

Dans cet objectif et dans le but d'étudier le comportement du fer et du manganèse sous les contraintes climatiques et hydrologiques, nous avons réalisé le suivi du Fe et du Mn pendant plusieurs cycles hydrologiques dans la retenue du barrage Smir soumis aux influences méditerranéennes et continentales [6-7]. Cependant, d'autres contraintes sont apparues liées à la fois à la demande croissante en eau des agglomérations urbaines ou rurales [8-9] et à la pollution engendrée par les substances indésirables à savoir le fer et le manganèse [10-11].

2. Matériels et méthodes

2.1. Zone d'étude

Le bassin versant du barrage Smir représente un vaste territoire géographique constitué généralement par des montagnes rocheuses à l'intérieur desquelles l'eau se trouve dirigée par gravité vers la retenue du barrage Smir [12]. Il est soumis au climat méditerranéen proprement influencé par les effets de la mer méditerranéenne et le couvert continental [13]. L'influence du climat et des contraintes hydrologiques sur l'occupation du sol [14-15] favorise la mobilisation d'énormes quantités de matières en suspension ou dissoute sous l'effet d'érosion par les apports d'eau [16-17].

Le barrage Smir est mis en eau depuis 1991 sur une surface de 4,7 km² avec une capacité de 43 Mm³ et avec une profondeur de 45 m. Il peut recevoir annuellement des apports en eau importants durant quelques semaines seulement (figure 2).

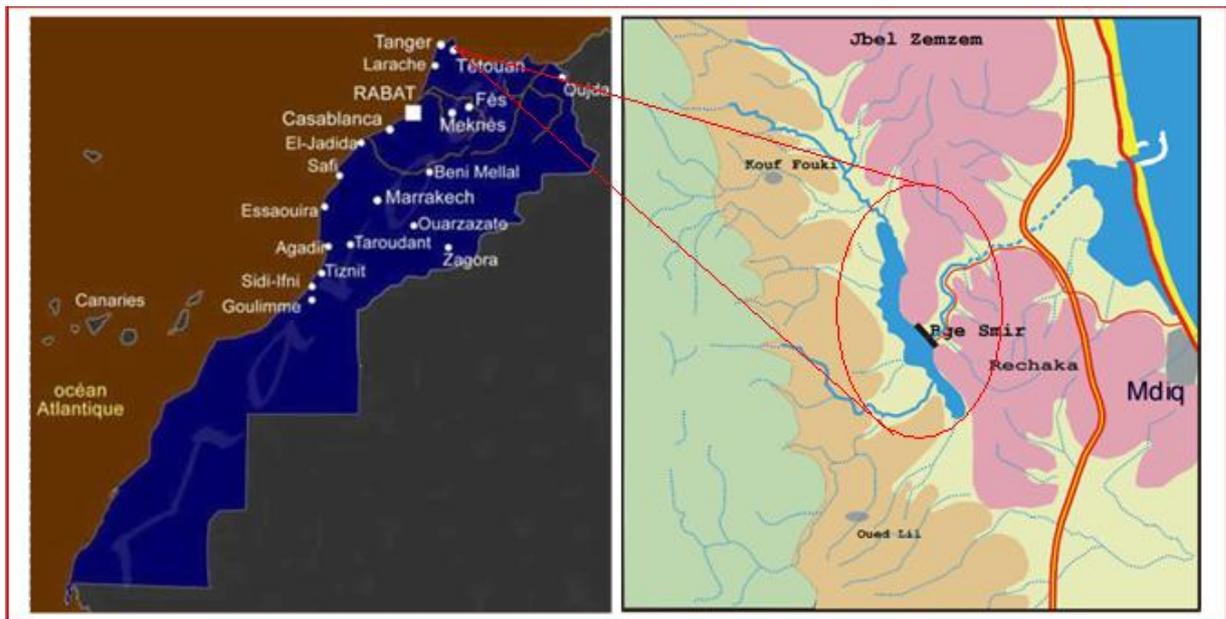


Figure 1: Représentation du système hydrographique du bassin de barrage Smir (Maroc)

2.2. Techniques

L'échantillonnage de l'eau du barrage Smir est effectué dans la station de prise d'eau en surface et au fond (**Figure 1**) durant la période 2004-2008. Les paramètres physicochimiques (la température, l'Oxygène dissous, le pH, la conductivité et le Titre Alcalimétrique Complet) ont été mesurés *in situ* en surface et au fond du barrage. Les concentrations du Fe et du Mn ont été analysées dans le laboratoire de l'Institut National d'Hygiène de Rabat (INH). Les concentrations de Mn ont été mesurées par la spectrophotométrie d'absorption atomique (SAA) avec du graphite (Varian AA240Z GTA 120) et celles de Fe par SAA avec four (Varian AA 20).

Les mesures de débits des apports en eau arrivées au barrage Smir étaient enregistrées par l'agence du bassin hydraulique Nord-Ouest au Maroc.

3. Résultats et discussion

3.1. Les apports en eau au barrage Smir

Le climat au bassin du barrage Smir est caractérisé par un hiver doux et humide avec des précipitations annuelles variant entre 800 et 1400 mm et un été chaud et sec sous les influences de la mer méditerranéenne et le couvert continental [18].

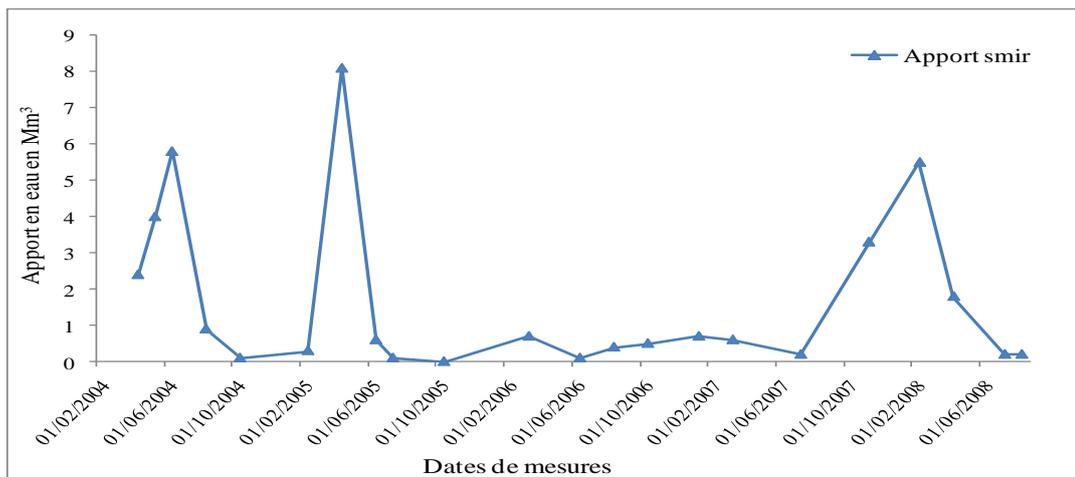


Figure 2: Variations des apports annuels en eau au barrage Smir (Source: Ministère de l'énergie, mine, eau et environnement)

Les débits au barrage Smir sont très importants durant les années hydrologiques humides 2004, 2005 et 2008 (figure 2). Ils contribuent en général dans la dégradation du sol du bassin versant de Smir [19-20] et par conséquent à l'origine d'un apport très chargé en matières dissous et/ou en suspension [21]. A l'inverse, durant les années sèches (2006 et 2007) on note des faibles apports en eaux (Figure 2) et en matières solides [22].

3.2. Caractérisation physicochimiques des eaux

Les résultats de suivi, à la station de prise d'eau en surface et au fond durant 2004-2008, des paramètres physicochimiques de l'eau du barrage Smir sont représentés dans les figures 3, 4, 5, 6 et 7.

3.2.1. La température

La température est un facteur physique très important dans les processus physiques (la densité, la viscosité et le changement d'état du gaz), biologiques (le développement et la croissance des organismes vivant dans l'eau et particulièrement les microorganismes) et chimiques (la solubilité des gaz dans l'eau, la dissociation des sels dissous et de même que sur les réactions chimiques et biochimiques) [23-24].

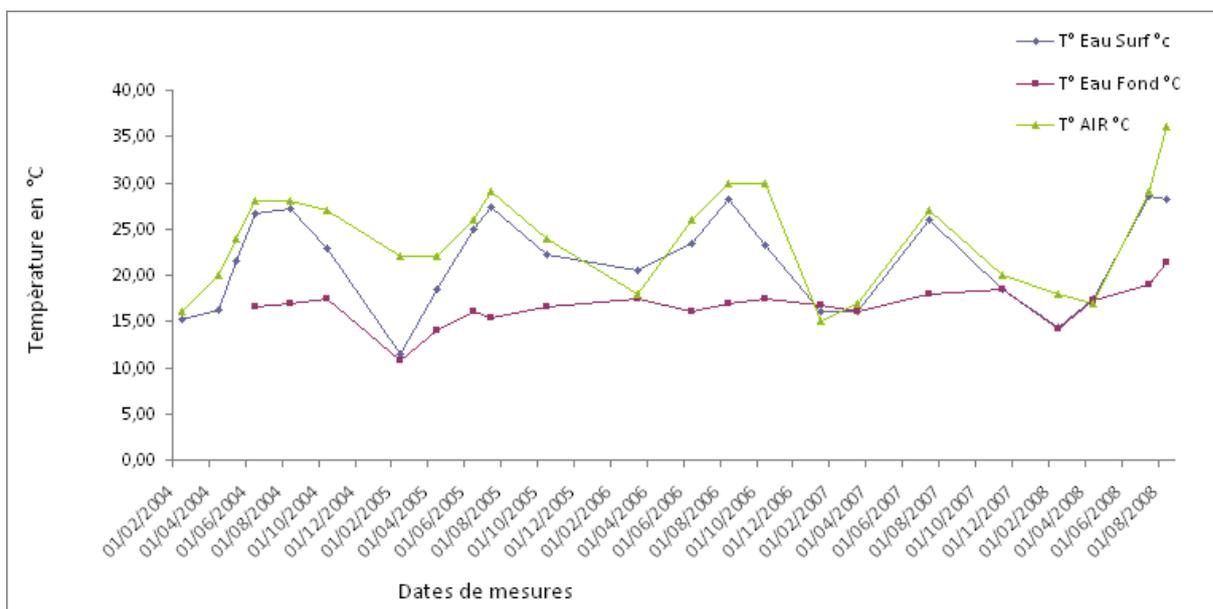


Figure 3: Variations de la température de l'air et de l'eau du barrage Smir

La température de l'air varie entre les valeurs 15°C et 28,2°C respectivement aux dates 25-01-2007 et 19-08-2008. Par ailleurs, la température de l'eau de surface est intimement liée à celle de l'air [25]. Elle varie entre les valeurs 11,5°C et 28,6°C respectivement aux dates 25-02-2005 et 02-07-2008. Cependant, la température de

l'eau du fond ne semble pas affectée par celle de l'air. Elle varie entre les valeurs 10,7°C et 21,4°C respectivement aux dates 25-02-2005 et 19-08-2008. Ces résultats peuvent être expliqués par l'effet du courant de convection mécanique pendant les périodes pluvieuses sous l'influence de la turbulence des apports en eau et des vents [26] Ce paramètre accélère la convection libre qui résulte de l'enfoncement naturel généré par la variation de la densité [27].

Par contre durant les périodes sèches sans convection mécanique, la chaleur est plus absorbée rapidement en surface qu'en profondeur. L'eau chaude superficielle devient moins dense que l'eau froide au fond pour former des strates entre les eaux de surface et celles du fond de la retenue du barrage [28].

3.2.2. L'oxygène dissous

L'oxygène dissous est le paramètre le plus fondamental de la qualité de l'eau. Il participe à la majorité des processus chimiques et biologiques en milieu aquatique [29].

Les quantités de l'oxygène de l'eau de surface varient entre les valeurs 1,1 mg/l et 11,1mg/l aux dates 15-11-2007 et 25-02-2005 respectives. De même celles de l'eau du fond varient entre les valeurs 1,1 mg/l et 8,5 aux dates 15-11-2007 et 25-02-2005 respectives.

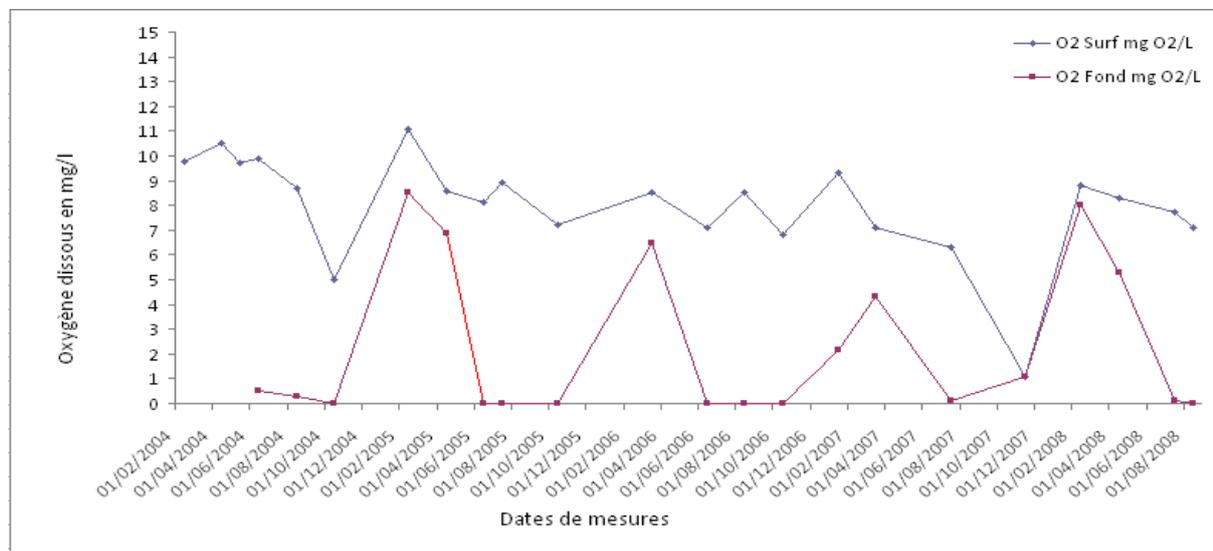


Figure 4: Variations de l'oxygène dissous de l'eau du barrage Smir en surface et au fond

Ces résultats nous ont permis de déduire que les eaux de surface sont bien oxygénées par rapport à celles du fond. Cette oxygénation peut être expliquée par l'échange gazeux entre l'eau de surface avec l'oxygène atmosphérique et la production de l'oxygène dissous en surface généré par le processus de photosynthèse. Cependant, l'anoxie du fond est plus intensifiée pendant les périodes sèches à la hauteur 45m du barrage. Le déficit noté à ce niveau est due à l'oxydation des matières organiques pendant cette période et à la stagnation du flux vertical de l'eau par l'effet de la stratification thermique (Figure 4).

Par ailleurs, l'influence des conditions climatiques représentées par les effets du courant de convection (Figure 2) enregistrés durant les périodes humides génèrent une réoxygénation du fond de barrage par le processus de brassage et d'homogénéisation de la colonne d'eau.

3.2.3. Le potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH est un facteur indicateur de la présence des produits à caractère d'acidité ou d'alcalinité qui caractérise la retenue du barrage. L'analyse de la figure 5 nous permet de détailler la faible fluctuation du pH de l'eau de surface et celle du fond du barrage Smir.

Le pH de l'eau de surface varie entre les valeurs 7,85 et 8,76 aux dates 08-02-2008 et 25-07-2007 respectives, cependant celui du fond varie entre les valeurs 7,23 et 8,42 aux dates 19-08-2008 et 17-04-2008 respectives.

Les valeurs obtenues en surface sont supérieures à celles du fond. Elles peuvent s'expliquer d'une part en surface par la production d'oxygène et la consommation du CO₂ et d'autre part au fond par la formation de

l'acide carbonique lors de la minéralisation des matières organiques qui entraînent la baisse du pH pendant la période de la stratification thermique [30].

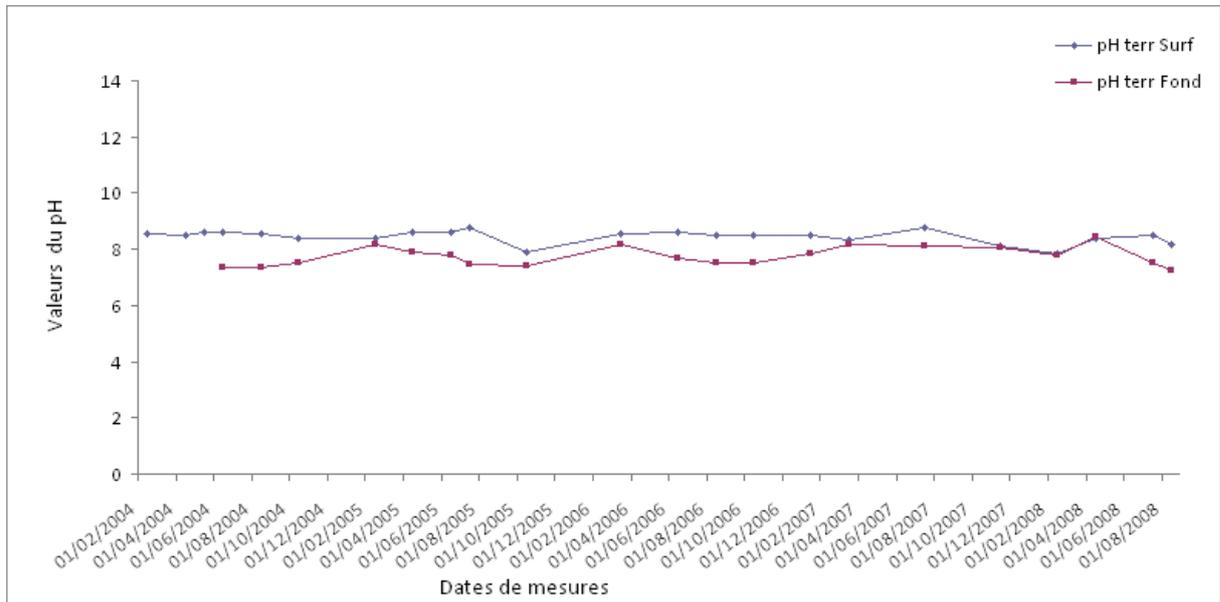


Figure 5: Variations du pH de l'eau du barrage Smir en surface et au fond

Les valeurs du pH prise en même date entre les eaux de surface et celle du fond sont rapprochées pendant les périodes où la retenue du barrage Smir reçoit des apports en eau. Cependant, elles se sont éloignées pendant les périodes sèches où il y a une absence des apports arrivés à cette retenue.

3.2.4. La conductivité

La conductivité de l'eau fournit une bonne indication sur la présence des minéraux dissous dans l'eau [31]. Elle reflète d'une part la nature et les constituants géologiques du bassin versant qui sont dégradés par l'effet climatique et transportés par le ruissellement vers la retenue du barrage sous forme des eaux chargées par des matières dissoutes ou en suspension, et d'autre part la nature composite sédimentaire formant la boue dont le relargage des constituants se manifeste pendant la période de stratification thermique.

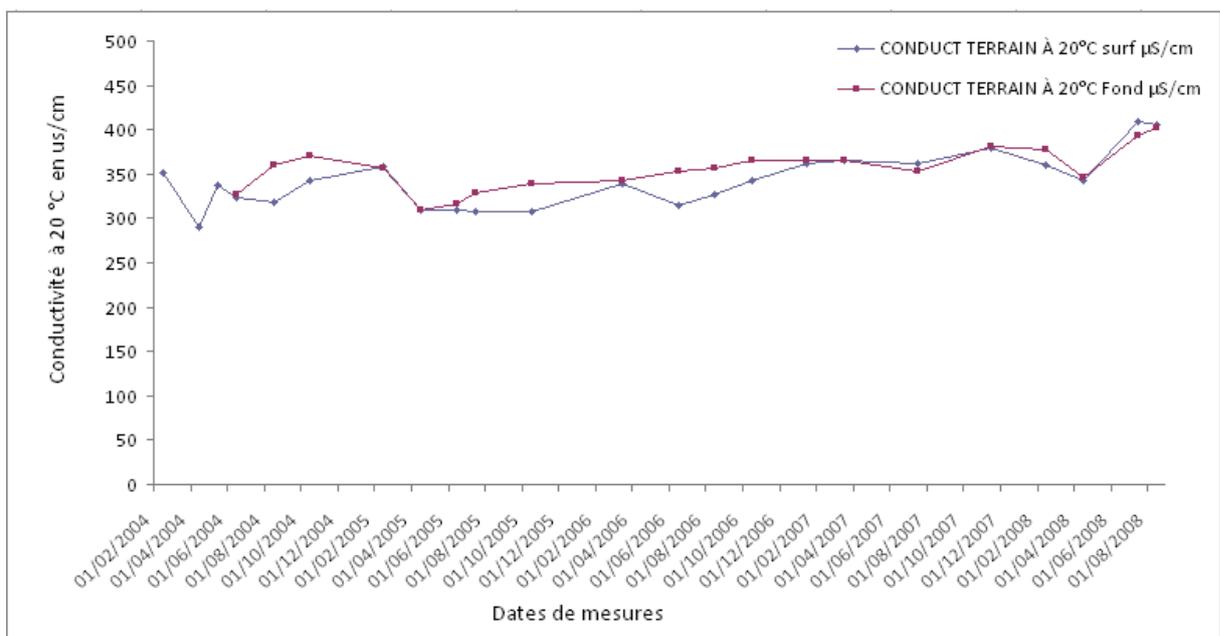


Figure 6: Variations de la conductivité de l'eau du barrage Smir en surface et au fond

En surface, La conductivité varie entre les valeurs 290 $\mu\text{s}/\text{cm}$ et 409 $\mu\text{s}/\text{cm}$ aux dates 21-04-2004 et 02-07-2008 respectives. De même celle de l'eau du fond varie entre les valeurs 310 $\mu\text{s}/\text{cm}$ et 402 $\mu\text{s}/\text{cm}$ aux dates 12-04-2005 et 19-08-2008 respectives.

Dans l'ensemble de ces résultats, la conductivité du fond est supérieure à celle de surface mais elle reste faible par rapport à la norme Marocaine des eaux de surface qui est 2700 $\mu\text{s}/\text{cm}$ [32]. Cependant, la présence des minéraux dissous conducteurs dans l'eau peuvent contribuer aux processus physico-chimiques ou biologiques et générer des effets indésirables de la qualité de l'eau à savoir des goûts et des odeurs désagréables et détériorer le réseau de distribution s'elles n'étaient pas traitées.

3.2.5. Le Titre Alcalimétrique Complet (TAC)

Le TAC représente la présence de la concentration totale des ions hydrogénocarbonates HCO_3^- (aq) et les carbonates CO_3^{2-} (aq) dans l'eau.

L'analyse des courbes du TAC de l'eau présentées par la figure 7 nous a permis de noter les variations spatio-temporelles du TAC qui oscillent en surface entre les valeurs 1,8 még/l et 3,4 még/l aux dates 17-04-2008 et 02-07-2007 respectives. De même celles de l'eau du fond oscillent entre les valeurs 2,0 még/l et 3,8 még/l aux dates 17-04-2008 et 02-02-2008 respectives.

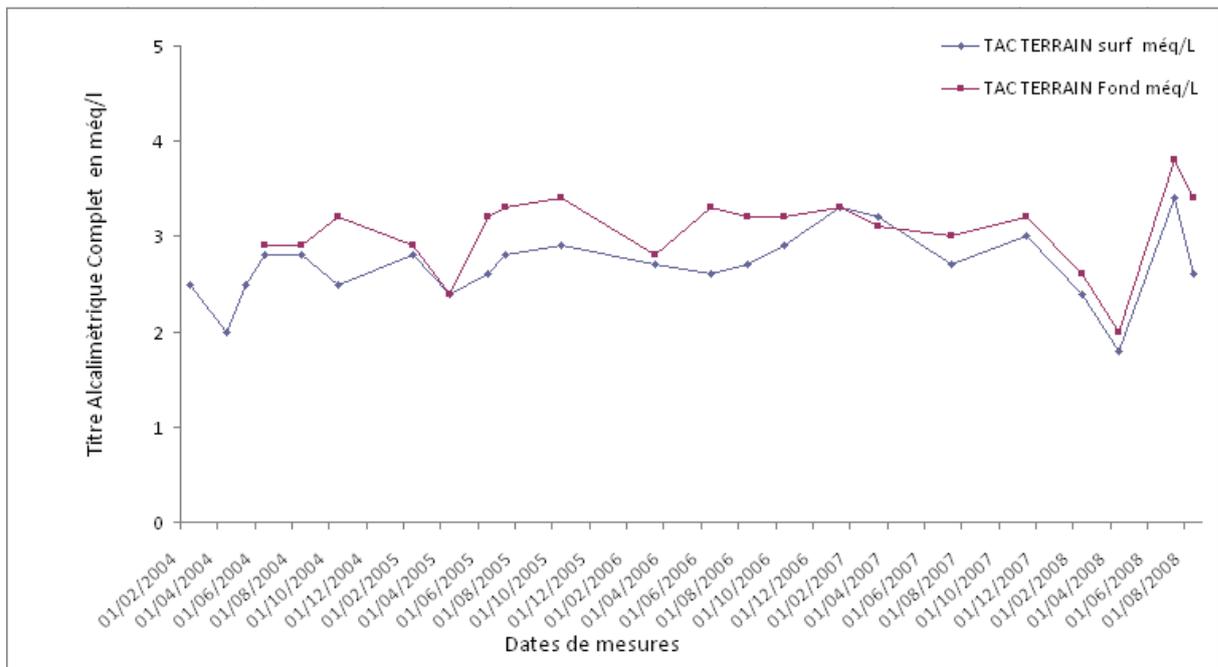


Figure 7: Variations du TAC de l'eau du barrage Smir en surface et au fond.

Au niveau du bassin versant du barrage Smir, les massifs calcaires, gréseux et schisteux constituant le sol sont attaqués par les précipitations riches en CO_2 atmosphérique qui dissocient les carbonates de calcium selon l'équation chimique (Eq1). Les eaux ruisselées transportent les éléments mis en solution effectivement HCO_3^- et Ca^{2+} vers la retenue du barrage Smir.



Cependant, les CO_2 dissous dans l'eau qui n'arrivent pas à dissocier les calcaires au niveau du bassin, ils peuvent participer à la formation de HCO_3^- au niveau de la retenue du barrage suite à l'équation chimique (Eq 2):



Le pH de l'eau du barrage durant la période d'étude 2004-2008 reste toujours entre 6,5 et 9; -intervalle de la prédominance de l'espèce HCO_3^- .

Par ailleurs, l'eau de la retenue du barrage Smir contient aussi des matières organiques soient transportées ou produites in situ dans le barrage. Ces matières organiques peuvent se minéraliser en entraînant la production de

CO₂ qui en solution aqueuse contribue à la production de HCO₃⁻ au fond selon l'équation chimique (Eq 2). Ceci explique l'écart des valeurs du TAC entre les eaux de surface et celles du fond [33-34].

3.3. La spéciation du fer et du manganèse

La spéciation des métaux de transition, particulièrement Fe et Mn, dans la retenue du barrage est contrôlée par des réactions physiques, chimiques et biologiques qui favorisent les processus de dissolution-précipitation, adsorption-désorption et complexation.

Les figures 8 et 9 représentent les variations des concentrations du Fe et du Mn dans la retenue du barrage Smir.

3.3.1. Le fer

Le fer est le 26^{ème} élément chimique du tableau périodique de période 4, du bloc d et de groupe 8 avec une masse atomique de 55,8 g.mol⁻¹.

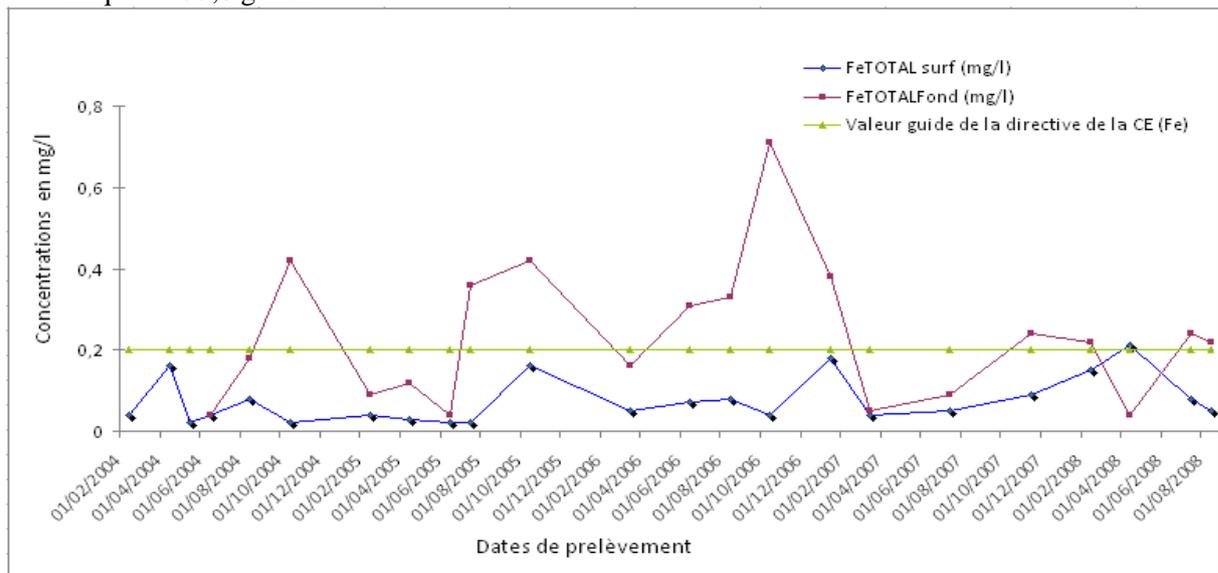


Figure 8: Variations de la concentration du Fe dans l'eau du barrage Smir en surface et au fond

Les concentrations du Fe mesurées au fond de la retenue du barrage Smir sont supérieures à celles de surface (figure 8). Elles varient entre une valeur minimale 0,04 mg/l notée le 15-06-2005 et une valeur maximale 0,71 mg/l notée le 05-10-2006. Elles dépassent la valeur guide représentant la norme Marocaine de 0,2 mg/l pendant les saisons d'été et d'automne de chaque année à l'exception de l'année 2007 et 2008 durant lesquelles on a une faible augmentation.

Par contre, les concentrations du Fe en surface varient entre une valeur minimale de 0,02 mg/l, notée le 26-05-2004 et une valeur maximale de 0,21 notée le 17-04-2008. Elles restent donc inférieures à la valeur guide Marocaine.

Cette spéciation du Fe entre les eaux de surface et celles du fond est conditionnée par des facteurs qui favorisent les réactions d'oxydoréduction dans la retenue de ce barrage [35].

L'analyse comparative des figures 4 et 8 pendant la stratification thermique, nous a permis de déduire que la diminution des concentrations en oxygène relevée durant cette période induit la réduction chimique du Fe et entraîne sa solubilisation. Ainsi dans les eaux superficielles qui sont généralement bien oxygénées, les concentrations en Fe restent en général faibles. Contrairement au fond du barrage, ces concentrations en milieu réducteur restent élevées au niveau de l'interface eau-sédiments, en raison du relargage de cet élément à partir des sédiments [36-37-38].

Par ailleurs, l'analyse comparative de l'évolution des apports en eaux (figure 2) avec celle des concentrations en Fe (figure 8) montre une corrélation négative. En effet, durant les périodes pluvieuses une chute des concentrations du fer a été relevée. Ce résultat peut être expliqué d'une part par l'influence des apports en eau qui permet la dilution, l'homogénéisation et l'oxygénation de la colonne d'eau dans la retenue du barrage et l'oxydation du Fe(II) et sa précipitation en hydroxyde ou oxyde du Fe(III) [39]. D'autre part, cette transformation est favorisée par l'adsorption sous l'effet des interactions de Van der Waals et/ou par des interactions dipolaires entre le fer et ses dérivés dans l'eau avec les constituants du sédiment [40].

3.3.1. Le manganèse

Le manganèse est le 25^{ème} élément chimique du tableau périodique de période 4, du bloc d et de groupe 7 avec une masse atomique de 54,93 g.mol⁻¹.

Pour le manganèse on constate la même évolution que pour le fer avec cependant des différences pour leur spéciation. En effet, les concentrations du Mn au fond sont supérieures à celles de surface à l'exception de quelques points qui restent de l'ordre de la valeur guide représentant la norme marocaine 0,05 mg/l [37, 38]. Elles varient entre une valeur minimale 0,01 mg/l notée le 23-03-2006 et une valeur maximale 3,3 mg/l notée le 12-10-2005. Par contre, celles de surface varient entre une valeur minimale 0,01 notée le 04-02-2004 et une valeur maximale 0,11 mg/l notée le 17-04-2008.

Les concentrations du manganèse en surface restent toujours de l'ordre de la norme marocaine. Cependant, celles du fond dépassent cette valeur pendant les saisons d'été et d'automne de chaque année à l'exception de l'année 2007 durant laquelle on constate une faible augmentation.



Figure 9: Variations de la concentration du Mn dans l'eau du barrage Smir en surface et au fond.

L'analyse des figures 4 et 9 pendant la stratification thermique, nous permet de déduire que la diminution des concentrations en oxygène induit la réduction chimique du manganèse et sa solubilisation et par conséquent son augmentation au fond [36-37-38].

Contrairement à l'influence thermique, les apports en eau au barrage semblent réduire la charge en manganèse particulièrement pendant les périodes pluvieuses (phénomène de dilution et d'homogénéisation). Ce brassage naturel favorise l'oxydation du manganèse et son adsorption causée par les interactions de Van der Waals et/ou par des interactions dipolaires entre le manganèse et ses dérivés dans l'eau avec les constituants de vase sédimentée. Ainsi dans les eaux superficielles où elles sont bien oxygénées, les concentrations en manganèse restent en général faibles ou nulles. Ces facteurs importants entraînent des contraintes chimiques causant une large fluctuation, saisonnière et annuelle, de la concentration du manganèse.

Conclusion

Le suivi et l'analyse des différents traceurs physiques et chimiques considérés dans cette étude nous a permis de dégager le comportement de certains paramètres et facteurs prépondérant sur la spéciation du fer et du manganèse. La présence et l'évolution de ces derniers dans le barrage Smir apparaissent liées à deux origines, des augmentations progressives dès le début de la stratification thermique pendant la période d'été par le relargage à partir du sédiment et des diminutions liées probablement au phénomène d'homogénéisation hivernale. Ces variations du fer et manganèse peuvent être expliquées à la fois par la saisonnalité thermique et le déficit de l'oxygène pendant les périodes sèches et le régime annuel hydrologique lié aux variations des apports en eau marqués par la dilution et l'homogénéisation.

Outre l'hydrologie et la température ; la production primaire est également responsable des fluctuations de l'oxygène qui est associé à des équilibres physiques, chimiques et biologiques. Ces processus entraînent des dysfonctionnements écologiques favorisant le relargage du fer et du manganèse. Ces divers facteurs physiques, chimiques et biologiques jouent un rôle direct sur la spéciation saisonnière et annuelle de la concentration du fer et du manganèse et génèrent des contraintes chimiques pour la gestion de l'eau du barrage Smir.

Remerciement - Ce travail a été réalisé dans le cadre d'une collaboration entre la Faculté des Sciences, l'Institut Scientifique et l'Institut National d'Hygiène à Rabat. Les auteurs remercient les évaluateurs anonymes pour les remarques et commentaires qui ont permis d'améliorer ce manuscrit.

References

1. Boulaoud A., Foutlane A., Bourchich L., *Rev. H.T.E.* 119 (2001).
2. El Ghachtoul Y., Alaoui Mhamdi M., Gabi H., *Rev. Sci. Eau* 18 (2005)75-89.
3. Niazi S., *Thèse de Doctorat, Université Med V Rabat* (2007) 296 p.
4. Erraji H., El Kacimi k., Bellaoucou A., Fekhaoui M., Khoudari M., El Abidi A., El Morhit M., *J. Mater. Environ. Sci.* 1(2015) 52-59.
5. Norme Marocaine 03.7.001, *S.N.I.Ma.* (1991) 14p.
6. Emberger L., *Al Awamia* 12 (1964) 1-15.
7. Dussart B., *Gauthier-Villars Ed. Paris* (1966) 678p.
8. A.P.D.N., *Rapport d'Etat A.P.D.N.* (2011).
9. Loi 10-95 Sur l'Eau, *Bul. Off. Ma.* 4325 (1995) 627-663.
10. Davison W., *Eath Sci.* 34 (1993) 119-163.
11. Taouil H., Ibn Ahmed S., El Assyry A., Hajjaji N., Srhiri A., *J. Mater. Environ. Sci.* 5 (2014) 177-182.
12. Laouina A., Coelho C., Ritsema C., Chaker M., Nafaa R., Fenjiro I., Antari M., Ferreira A., Van Dijck S., *Rev.Séch* (2004) 65-77.
13. Emberger L., *Rec. Trav. Lab. Bot. Géol. Fac. Sc. Montpellier* 11(1955) 3-43.
14. Haut Commissariat aux Eaux, Forêt et la Lutte Contre la Désertification, *H.C.E.F.L.C.D.* (2007) 242p.
15. Haut Commissariat aux Eaux, Forêts et à la lutte contre la désertification, *H.C.E.F.L.C.D.* 40 (2011).
16. Ben Mohammadi A. *Thèse de Doctorat Université Med V Faculté des Sciences Rabat* (1991) 244p.
17. Haida S., *Thèse de Doctorat Université Ibn Tofail, Faculté des Sciences. Kenitra* (2000) 253p.
18. Sauvage Ch., *Globe et Métio. Inst. Sc. Chérifien* 20 (1963) 11-23.
19. Babault J., Van Den Driessche J., *C. R. Géoscience* 337 (2005) 1431-1438.
20. Youssef M., *Thèse de Doctorat, Université Med V Faculté des Sciences Rabat* (2009) 250p.
21. Benaabidate L., *Thèse de Doctorat. F.S.T. Fès* (2000) 250p.
22. Konan K.S., Kouassi K. L., Konan K. F., Kouame K. I. et Gnakri D.; *Bulletin de l'Institut Scientifique*, 35 (2013) 17-25.
23. Bricha S. et al., *Rev. Afr. Sci.* 3(2007) 391-404.
24. N'Diaye A. D., Mohamed S. KH. M., Ould Kankou M. A., *Larhys Journal* 12 (2013) 71-83.
25. Nhari F., Sbaa M., Luc Vassel J., Fekhaoui M. and El Morhit M., *IJAS* 2(2014). 198-207.
26. Dettwiler L.; *Bulletin de l'Union des Physiciens* 89(1995). 103-115.
27. Pierre L. H., Ricardo S. J., Benedicate T., Phillippe B., François L., Patrick L., Loic G., Phillippe C., Louis-Alexandre R.; *Presses de Cloitre Imprimeurs*; (2001) 31p.
28. Skaljic M. et Mauduit M.E.; Université Blaise Pascal; *Rapport Annuel 2012; ATHOS environnement*, (2013) 52p.
29. Derwich E., Benaabidate L., Zian A., Sadki O., Belghity D., *Larhyss Journal* 8 (2010) 101-112.
30. Milaine R.B.; *B.Sc. Biologie 2009-2011* (2013).34p
31. Makhoukh .M, Sbaa M., Berrahou A., Clooster M. V., *Larhyss Journal* 9 (2011) 149-169.
32. Norme Marocaine de qualité des eaux., *Bull.Off.Ma.* 5062 (2002) page.
33. Bischoff J. L., Fitzpatrick J. A., Rosenbauer R. J., *J. Geol.* 101 (1993) p21.
34. Elfil H., Roques H., *AICHe Journal* 8 (2004) 1908-1916.
35. Lilita V., *These de Doctorat en Oceanologie, Université de la Méditerranée Aix-Marseille II* (2008) 5-7
36. Boust D., *Rapport Seine-aval* (1997) 12p.
37. Boust D., Habert D., Rosert M., Ouddane B., Martin E., skiker M., fischer J.C., Boughriet A., Wartel M., *Rapport Seine-Aval* 126 (1998).
38. Van Cappellen P., Wang Y., *Am. J. Sci.* 296 (1996) 197-243.
39. Gledhill M. and Van Den Berg C.M.G., *Marine Chemistry* 50 (1995) 51-61.
40. Tallidi Abdellah; *Thèse de doctorat en chimie Faculté des Sciences Rabat* (2006) 142p.