



Élimination du fer et du manganèse d'une eau de surface par les graines de *Moringa oleifera*

Jacques K. FATOMBI^{1*}, Gautier AVOCANH², Nikita TOPANOU¹, Taofiki AMINOU¹
et Roger G. JOSSE³

¹Laboratoire d'Expertise et de Recherche en Chimie de l'Eau et de l'Environnement (LERCEE), Faculté des Sciences et Techniques, Département de Chimie, Université d'Abomey-Calavi, 01 BP 526, Cotonou, Bénin.

²Laboratoire de la Direction Générale de l'Eau, Cotonou, Bénin.

³Laboratoire d'Analyse Physico-Chimique des Milieux Aquatiques (LAPMIA), Faculté des Sciences et Techniques, Département de Chimie, Université d'Abomey-Calavi, 01 BP 526, Cotonou, Bénin.

*Auteur correspondant, E-mail : jacquesfatombi@yahoo.fr; Tel: (229)97895404.

RESUME

Dans cette étude, les échantillons d'eau de la retenue d'Okpara à Parakou ont été traités par les extraits aqueux des graines de *Moringa oleifera* en vue de réduire les concentrations de fer et de manganèse qu'ils contenaient. Dans deux échantillons d'eau de la retenue dont les concentrations en fer sont 8,20 mg/L et 21,10 mg/L puis 0,90 mg/L et 1,60 mg/L de manganèse, les taux d'abattement aux doses optimales 64 mg/L et 48 mg/L de *Moringa oleifera* sont respectivement de 80% et 42% pour le fer et 77% et 45% pour le manganèse. Lorsque *Moringa* a été utilisé comme adjuvant de coagulation au sulfate d'aluminium, 94% de fer et 90% de manganèse ont été éliminés. Ces résultats montrent que la combinaison de *Moringa oleifera* avec le sulfate d'aluminium conduit à des taux d'abattement de fer et de manganèse meilleurs que ceux obtenus avec le sulfate d'aluminium ou le *Moringa oleifera* utilisé chacun comme coagulant primaire ; en outre, cette combinaison a l'avantage de réduire la quantité d'alun nécessaire et par conséquent le coût du traitement de l'eau brute diminue.

© 2013 International Formulae Group. All rights reserved.

Mot clés: *Moringa oleifera* - fer - manganèse adjuvant de coagulation - jar-test.

INTRODUCTION

Le fer et le manganèse font partie des métaux les plus abondants de la croûte terrestre. Leur présence dans les eaux de surface et souterraines provient principalement du lessivage des sols, de la dissolution des roches et minerais et des rejets industriels (Masoud et al., 2013). A de faibles concentrations, ces deux éléments métalliques ne sont pas nuisibles à l'homme. Mais à de

concentrations assez élevées (OMS, 2004), ils sont responsables du goût métallique, de la couleur rougeâtre de l'eau et des tâches sur le linge et les équipements sanitaires (Chandra et al., 2003). Dans les eaux naturelles, le fer et le manganèse sont présents sous diverses formes (dissoute, complexée, particulaire) et à des concentrations très variées (Muwaga et al., 2006). Dans l'eau de la retenue d'Okpara traitée par la Société Nationale des Eaux du

Bénin (SONEB), les concentrations du fer et du manganèse atteignent respectivement 50 mg/L et 4,50 mg/L (Zogo et al., 2010).

Dans les usines de traitement de l'eau, les procédés les plus employés pour éliminer le fer et le manganèse de l'eau sont l'oxydation chimique des ions Fe^{2+} et Mn^{2+} en Fe^{3+} et Mn^{4+} sous forme de précipités $Fe(OH)_3$ et MnO_2 qui sédimentent. Les oxydants les plus utilisés sont le bioxyde de chlore, l'ozone, le permanganate de potassium, l'hypochlorite de sodium ou de calcium (Katsoyiannisa et al., 2008 ; Araby et al., 2009). Des procédés biologiques (Tekerleopoulou et Vayenas, 2007 ; Burgera et al., 2008 ; Katsoyiannisa et al., 2008 ; Tekerleopoulou et al., 2008 ; Quin et al., 2009 ; Jose et al., 2010), de coagulation-floculation par le sulfate d'aluminium (Zogo et al., 2010 ; 2011), d'adsorption (Okoniewsk et al., 2007 ; Shukla et al., 2006 ; García-Mendieta et al., 2012 ; Masoud et al., 2013) et membranaires (Choo et al., 2005) sont également utilisés.

Le procédé d'élimination du fer et du manganèse de l'eau de la retenue d'Okpara pratiqué par la SONEB est une préoxydation à l'hypochlorite de calcium ou au permanganate de potassium suivie d'un processus de coagulation-floculation au sulfate d'aluminium (Zogo et al., 2010, 2011). Cette technique est trop coûteuse car nécessitant l'utilisation de grandes quantités de composés chimiques ($Ca(OCl)_2$, $KMnO_4$, $Al_2(SO_4)_3$) pour pouvoir faire face à la demande en eau de boisson de la population.

Moringa oleifera est une plante tropicale appartenant à la famille des Moringaceae dont les graines contiennent des protéines floculantes non-toxiques (Katayon et al., 2006 ; Bhatia et al., 2007). Les boues produites par coagulation/floculation des eaux turbides sont biodégradables et occupent un volume quatre à cinq fois moins important que

les boues chimiques issues de l'emploi des coagulants conventionnels (Angelica et al., 2010).

La présente étude vise la réduction des concentrations du fer et du manganèse des eaux de surface par un processus de coagulation et floculation avec les extraits aqueux des graines de *Moringa oleifera*.

MATERIEL ET METHODES

Zone d'étude et prélèvement des échantillons

La retenue d'eau d'Okpara est construite dans la ville de Parakou au Nord-Est du Bénin et à 450 km de la ville de Cotonou, sur un affluent du fleuve Ouémé appelé Okpara. Le sous-bassin versant de cette retenue est situé dans la partie orientale de la ville et déborde sur les communes de Tchaourou, Pèrèrè, Nikki, N'Dali puis sur une partie au Sud-Est de la commune de Bembérékè. La ville de Parakou est située à 09°21 Latitude Nord et 02°36 Longitude Est. La retenue d'eau est la prise d'eau de la station de production d'eau de consommation de la ville de Parakou. Les échantillons d'eau ont été prélevés à une profondeur comprise entre 3 m et 4,5 m (Zogo et al., 2010, 2011) dans des flacons en verre borosilicaté de 1 L de capacité puis transportés au laboratoire à 4 °C dans une glacière. La zone d'étude est indiquée sur la Figure 1 (CENATEL, 2003).

Préparation des coagulants

Les graines de *Moringa oleifera* utilisées dans cette étude ont été récoltées à Ouidah. Après décorticage et séchage, les graines mures ont été réduites en poudre à l'aide d'un mortier de laboratoire. Une quantité de 2 g de la poudre obtenue a été dispersée dans 100 mL d'eau distillée. La suspension a été agitée pendant 1 h à l'aide d'un agitateur magnétique. Après 1 h de sédimentation, le surnageant a été filtré sur du

papier filtre plissé Wattman et le filtrat recueilli a été utilisé comme coagulant.

Une quantité de 5 g de sulfate d'aluminium ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$) a été dissoute dans 250 mL d'eau distillée. La solution obtenue a été utilisée comme coagulant.

Traitement des échantillons d'eau

Le traitement des échantillons d'eau de la retenue a été effectué par des essais de coagulation-floculation types jar-test. Des volumes croissants d'extrait aqueux de *Moringa* ou de sulfate d'aluminium ont été ajoutés à 500 mL d'eau brute contenue dans une série de béchers de 1 L d'un flocculateur numérique Fisher Bioblock Scientific à l'aide d'une micropipette de 500 μ L. Le mélange a été agité par les pâles rectangulaires du flocculateur à 200 trs/min pendant 3 min puis à 50 trs/min pendant 25 min. Après 2 h de sédimentation, un volume de 100 mL du surnageant a été siphonné. Sur ce prélèvement, le pH, la turbidité résiduelle, l'oxydabilité au permanganate, les concentrations du fer et du manganèse ont été

déterminés. Le pH et la turbidité ont été mesurés respectivement par un multi paramètre (WTW) et un turbidimètre HANNA. Le fer et le manganèse ont été dosés au spectrophotomètre HACH DR 2400 respectivement à l'orthophénantroline à la longueur d'onde de 510 nm et au périodate de potassium à 525 nm. Les matières organiques ont été dosées au permanganate de potassium.

Les taux d'abattement de la turbidité, du fer et du manganèse ont été calculés par l'expression :

$$\text{taux} = \frac{(\text{valeur initiale} - \text{valeur résiduelle})}{\text{valeur initiale}} \times 100$$

Analyse statistique

Les données obtenues ont été analysées avec le Logiciel SPSS version 10.1. Les différentes proportions ont été comparées par le test exact de Fischer au seuil de signification de 0,05.



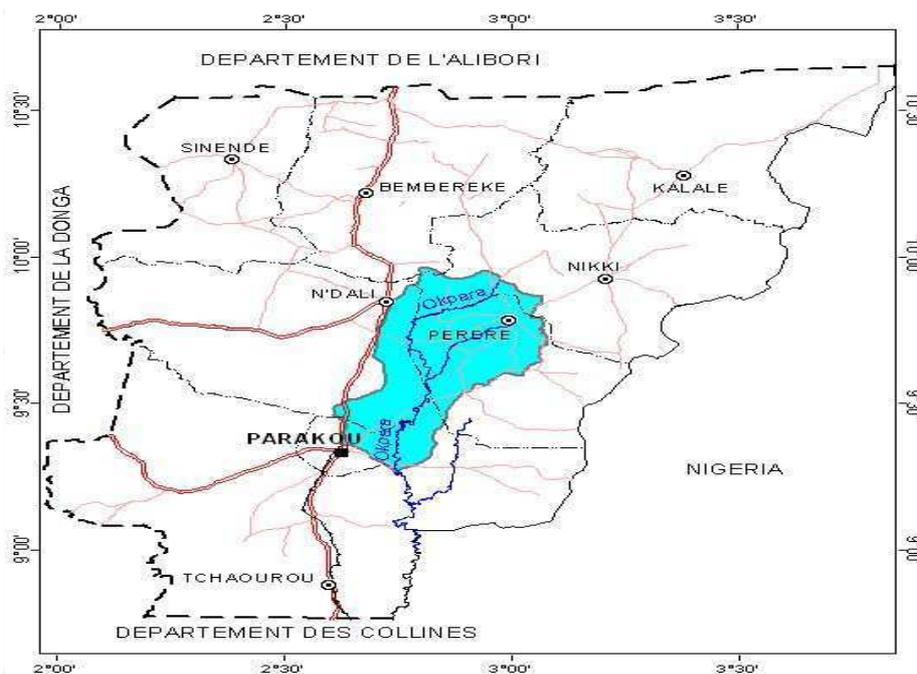


Figure 1: Carte de la zone d'étude.

RESULTATS

Turbidité et matières organiques

Trois échantillons d'eau de la retenue d'Okpara, E₁, E₂ et E₃, de turbidités initiales respectives 20 NTU, 24,40 NTU et 52 NTU, ont été traités par les extraits aqueux des graines de *Moringa oleifera* et le sulfate d'aluminium. Les variations des taux d'abattement de la turbidité et des matières organiques de l'eau traitée sont représentées sur les Figures 2 et 3. Sur la Figure 2, 75% et 80% des particules en suspension des échantillons E₁ et E₂ ont été éliminés respectivement par les graines de *Moringa oleifera* et le sulfate d'aluminium. On note sur la Figure 3 que les graines de *Moringa* du fait de leur nature végétale ont entraîné un enrichissement de l'eau traitée par les matières organiques de 104% environ.

Fer et manganèse

Les concentrations initiales des échantillons E₁, E₂ et E₃ sont respectivement de 8,20 mg/L, 6,70 mg/L et 21,10 mg/L en fer et 0,80 mg/L, 0,90 mg/L et 1,60 mg/L en manganèse. Les variations des taux d'abattement du fer et du manganèse au cours des essais de traitement sont représentées sur les Figures 4 et 5. Les taux de réduction des concentrations du fer et du manganèse au cours des essais de traitement effectués par les graines de *Moringa oleifera* ont atteint respectivement 80% et 77%. Ces taux sont de même ordre de grandeur que ceux obtenus par Zogo et al. (2010, 2011). Ces auteurs ont en effet obtenu des taux d'abattement de 90% et 66% respectivement pour le fer et le manganèse au cours des essais de floculation des échantillons d'eau de la retenue d'Okpara effectués par le sulfate d'aluminium en présence de permanganate de potassium ou d'hypochlorite de calcium utilisés comme oxydants.

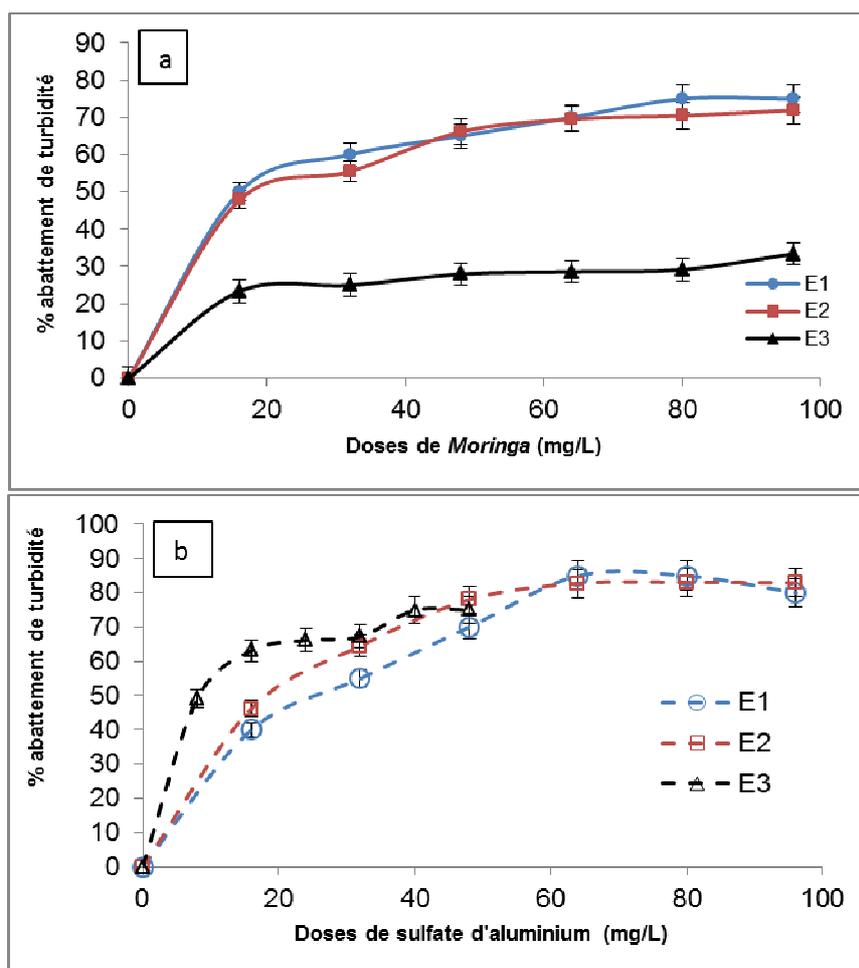


Figure 2: Variation des taux d'abattement de la turbidité.

***Moringa oleifera* utilisée comme adjuvant de coagulation au sulfate d'aluminium**

A l'issue des essais de traitement effectués avec les extraits aqueux de *Moringa oleifera*, les taux d'abattement du fer et du Manganèse ont atteint respectivement 80% et 77%. Le sulfate d'aluminium, bien que réduisant mieux les concentrations initiales du fer et du manganèse des échantillons d'eau brute que les extraits aqueux des graines de *Moringa oleifera*, enrichit cependant l'eau traitée en aluminium dissous (Liew et al., 2006). *Moringa oleifera* a été donc utilisé comme adjuvant de coagulant au sulfate d'aluminium. Les doses optimales de sulfate

d'aluminium utilisées pour les échantillons E₂ et E₃ de 80 mg/L et 48 mg/L respectivement ont été réduites de 40%. Les quantités d'alun enlevées ont été progressivement remplacées par des doses variables de *Moringa oleifera* dans des proportions de 1/4 à 4/4. Les résultats obtenus sont représentés sur la Figure 6. A l'issue de l'utilisation des extraits aqueux des graines de *Moringa oleifera* comme adjuvant de coagulant au sulfate d'aluminium, les taux d'abattement de fer et de manganèse ont été considérablement améliorés. Ces taux ont atteint respectivement 94% et 90% pour le fer et le manganèse.

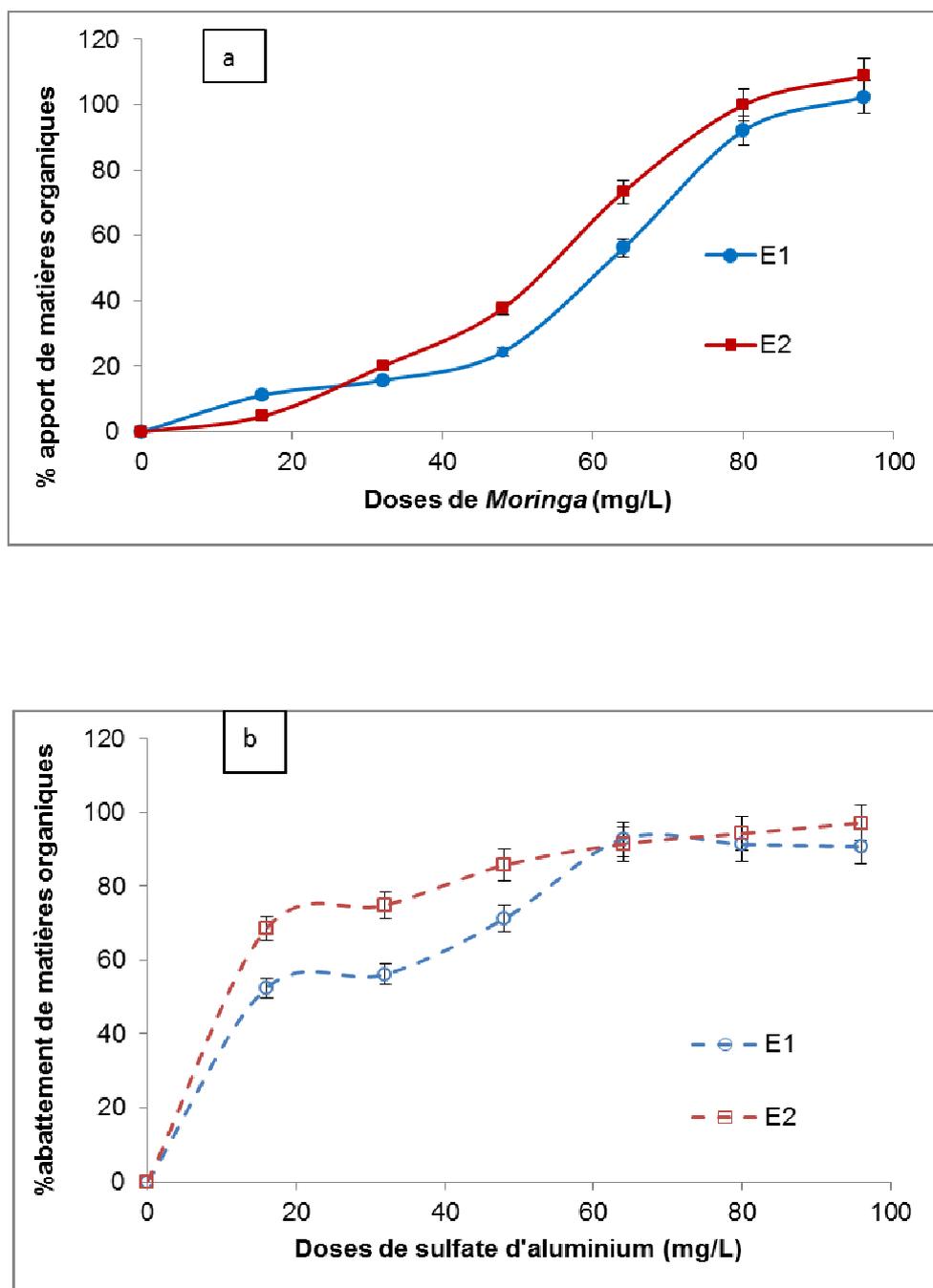


Figure 3: Variation de matières organiques.

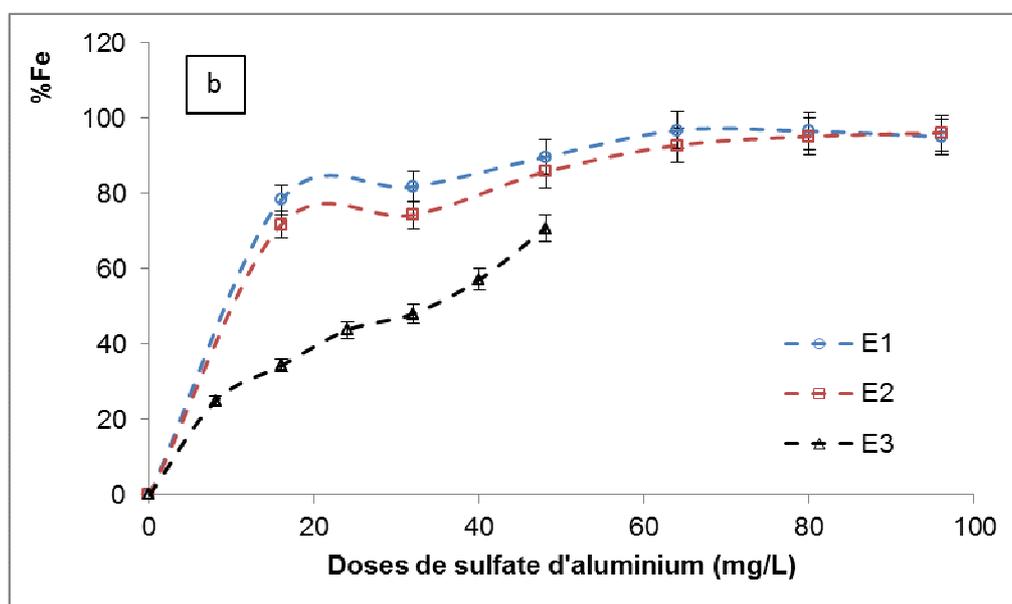
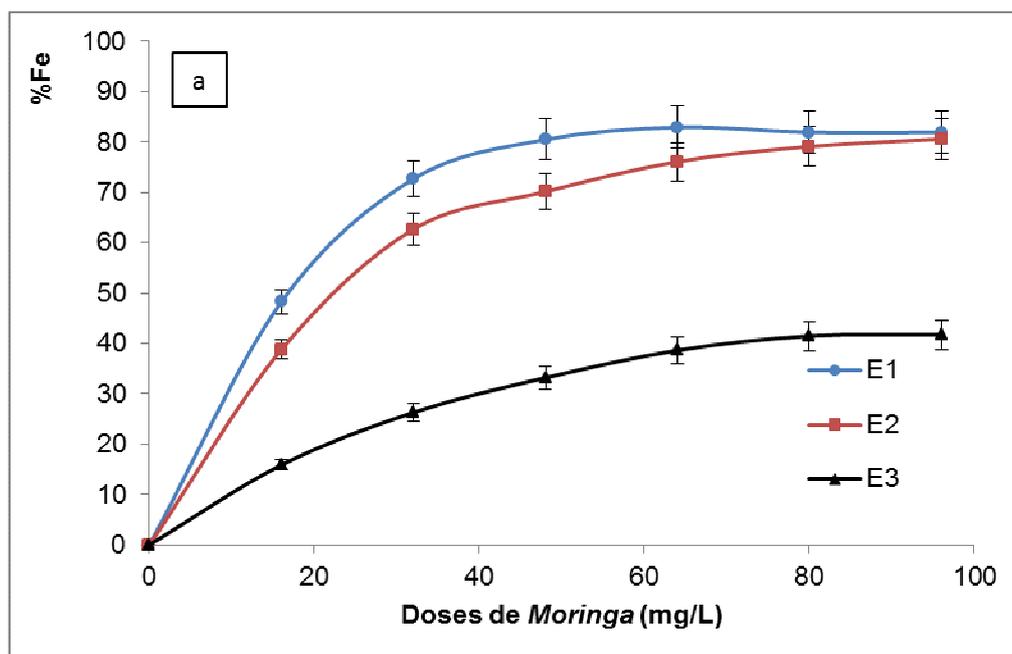


Figure 4: Variation des taux d'abattement du fer.

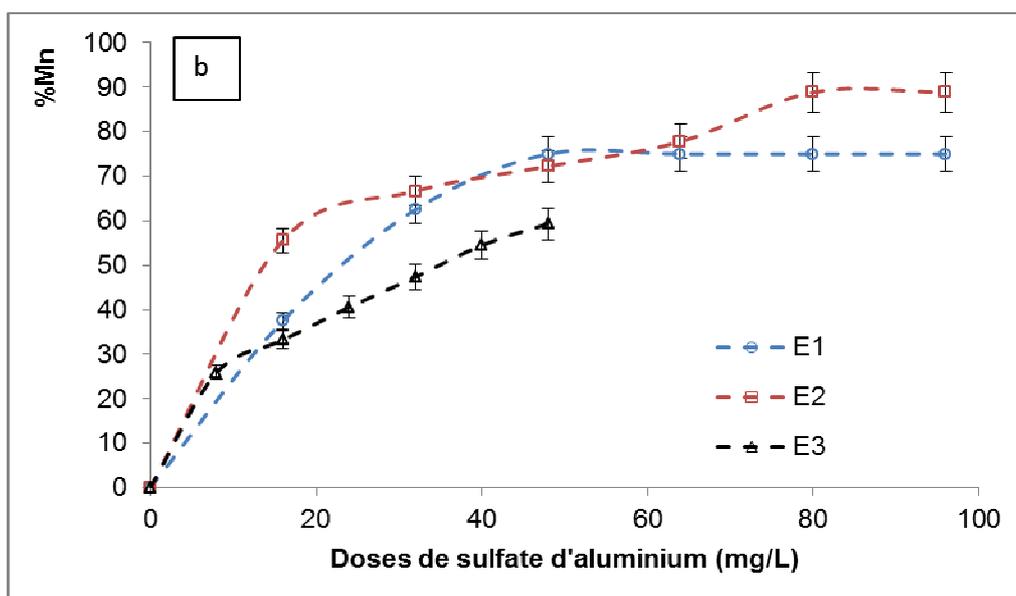
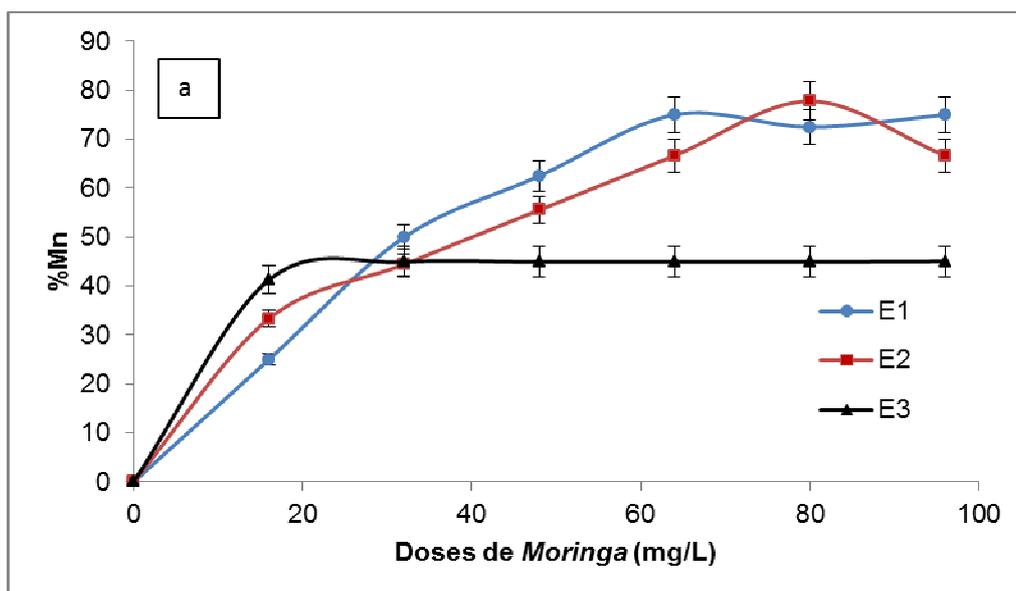


Figure 5: Variation des taux d'abattement du Manganèse.

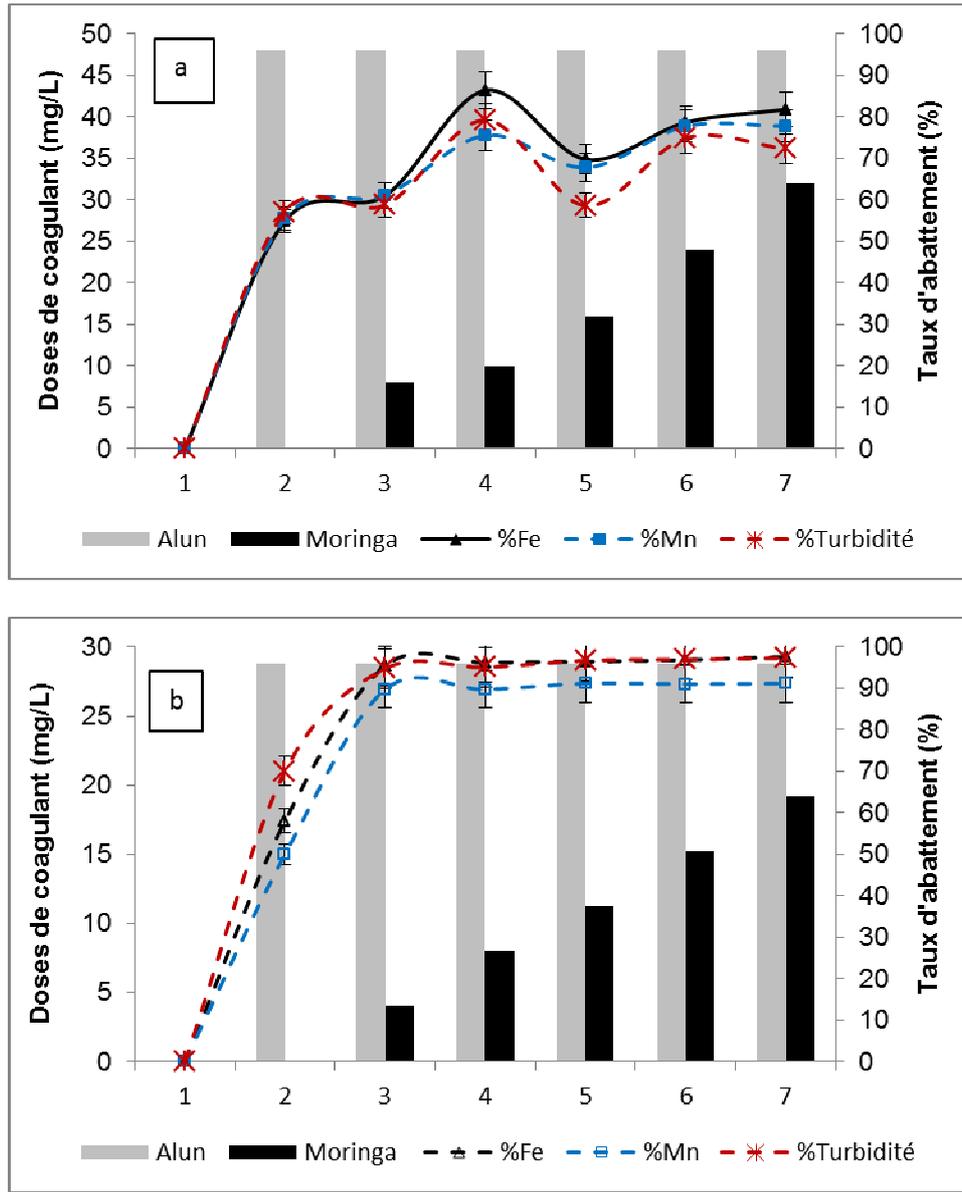


Figure 6: Variation de taux d'abattement du fer, du manganèse et de la turbidité. (a) échantillon E₂, b) échantillon E₃.

DISCUSSION

A l'issue des essais de traitement effectués sur les échantillons d'eau de la retenue d'Okpara, on note sur la Figure 2a que les pourcentages d'abattement de la turbidité croissent avec les concentrations des coagulants jusqu'à leur valeur maximale. Ce

seuil d'abattement dépend cependant de la nature du coagulant utilisé et de la turbidité initiale de l'eau brute. Il est de 75% environ pour les échantillons E₁ et E₂ lors de l'utilisation de *Moringa oleifera* et de 80% environ pour les mêmes échantillons traités par le sulfate d'aluminium. Les échantillons

E₁ et E₂ ont en effet des turbidités voisines, 20 NTU et 24,40 NTU respectivement, ce qui justifie les taux d'abattement voisins notés pour ces deux échantillons d'eau au cours des essais de floculation. Par ailleurs, pour l'échantillon E₃ de turbidité initiale 52 NTU, le pourcentage d'abattement noté pour *Moringa oleifera* est faible et est de 33% alors qu'il est de 75% pour le sulfate d'aluminium. Les doses optimales de *Moringa oleifera* pour les trois échantillons d'eau sont respectivement de 64 mg/L pour les échantillons E₁ et E₂, 48 mg/L pour l'échantillon E₃ et, pour le sulfate d'aluminium, elles sont de 64 mg/L pour les échantillons E₁, E₂ et de 40 mg/L pour l'échantillon E₃.

Sur la Figure 3a, on a noté un enrichissement de l'eau traitée par les matières organiques proportionnel aux doses de *Moringa oleifera*. Il est de 102% pour l'échantillon E₁ et de 104% pour l'échantillon E₂; cela serait lié à la nature organique des protéines floculantes de *Moringa* (Katayon et al., 2006; Bhatia et al., 2007). Sur la Figure 2b, il y a eu une augmentation progressive du taux d'abattement de matières organiques. Le taux maximal de matières organiques éliminées est de 91% pour E₁ et 97% pour E₂. La variation du pH de l'eau traitée est négligeable. Ces résultats confirment en effet ceux de Bawa (2008), Beltran (2009), Eman (2010) qui ont souligné que le traitement de l'eau avec *Moringa oleifera* a peu d'influence sur le pH.

Les variations des taux d'élimination du fer et du manganèse (Figures 4a, 4b) au cours des essais de traitement croissent avec les doses de coagulant utilisées. De plus, les valeurs maximales de ces taux dépendent de la concentration de l'eau brute en fer et en manganèse, de la nature du coagulant utilisé et de la turbidité initiale de l'eau brute. Lors de l'utilisation de *Moringa oleifera*, 80% et 42 %

du fer (Figure 4a) contenu dans les échantillons E₁, E₂ et E₃ ont été éliminés aux doses optimales de 64 mg/L pour les échantillons E₁, E₂ et 48 mg/L pour l'échantillon E₃. Au cours des essais de traitement effectués avec le sulfate d'aluminium, les taux d'abattement étaient de 93% pour les échantillons E₁, E₂ et de 71% pour l'échantillon E₃. Pour le manganèse, au cours de l'utilisation de *Moringa*, 77% environ de la quantité initiale ont été éliminés des échantillons E₁, E₂ et 45% de l'échantillon E₃. Lors de l'utilisation d'alun, les taux d'abattelements étaient respectivement de 75%, 88% et 45% pour les échantillons E₁, E₂ et E₃. Les faibles taux d'abattement du fer et du manganèse notés pour l'échantillon d'eau E₃ seraient liés à l'effet combiné des particules colloïdales et des concentrations élevées de cet échantillon en fer et en manganèse. En effet, la turbidité de l'échantillon E₃ est de 53 NTU et les concentrations de fer et de manganèse sont respectivement 21,10 mg/L et 1,60 mg/L. Les sites actifs des protéines floculantes des graines de *Moringa oleifera* seraient saturés. L'élimination des deux éléments métalliques serait simultanée à celle des particules colloïdales. Il se produirait donc un emprisonnement des ions Fe²⁺ et Mn²⁺ dans les agrégats formés au cours de la déstabilisation des particules colloïdales par les coagulants. Les taux de réduction du fer et du manganèse notés au cours de l'utilisation des extraits aqueux de *Moringa oleifera* sont assez proches de ceux obtenus par Zogo et al. (2010, 2011) sur l'effet de la préchloration à l'hypochlorite de calcium ou la préoxydation au KMnO₄ sur la coagulation au sulfate d'aluminium des échantillons d'eau de la retenue de l'Okpara.

Au cours de l'utilisation des extraits aqueux des graines de *Moringa oleifera* comme adjuvant de coagulation, les doses de sulfate d'aluminium ont été constantes. Les

variations des taux d'abattement du fer, du manganèse et de la turbidité ne dépendaient que des doses de *Moringa oleifera*. Sur la Figure 5a, 87% du fer, 76% du manganèse et 80% de turbidité ont été éliminés de l'échantillon E₂ pour une combinaison constituée de 48 mg/L d'alun et 10 mg/L de *Moringa oleifera*. Le taux de remplacement d'alun par *Moringa oleifera* a été de 5/16. Pour une dose d'alun de 48 mg/L et de *Moringa oleifera* égale à 0 mg/L, les taux d'abattement de fer, de manganèse et de turbidité sont pratiquement égaux à 56%. Pour l'échantillon E₃ (Figure 5b), les taux d'abattement de fer, de manganèse et de la turbidité ont atteint leur valeur maximale pour la combinaison de 28,80 mg/L de sulfate d'aluminium et 4 mg/L de *Moringa oleifera*. Pour cette combinaison, 94% de fer, 94% de turbidité et 90% de manganèse ont été éliminés. Il en résulte que les taux d'abattement du fer, de manganèse et de la turbidité peuvent être améliorés si *Moringa* est utilisé comme adjuvant de coagulation au sulfate d'aluminium. Les extraits aqueux de *Moringa oleifera* pourraient être combinés au sulfate d'aluminium lors de l'élimination du fer et du manganèse des échantillons d'eau en remplacement des oxydants tels que l'hypochlorite de calcium ou le permanganate de potassium.

Conclusion

Les résultats obtenus dans cette étude montrent que les extraits aqueux des graines de *Moringa oleifera* peuvent être utilisés pour réduire les concentrations du fer et du manganèse dans des eaux de surface et des effluents industriels. Les taux d'abattement de ces deux éléments métalliques dépendent de leurs concentrations initiales dans l'eau brute, de la turbidité initiale de celle-ci et de la nature des coagulants utilisés. L'élimination du fer et du manganèse de l'eau est simultanée

à celle de la turbidité. Lors de l'utilisation de *Moringa* comme adjuvant de coagulation au sulfate d'aluminium, les taux d'élimination des deux éléments métalliques ont été considérablement améliorés et supérieurs à ceux issus des essais de traitement effectués par le sulfate d'aluminium ou le *Moringa oleifera*. En fonction de la turbidité et de la teneur en fer et en manganèse de l'eau brute, *Moringa oleifera* peut jouer le rôle d'un coagulant primaire ou d'un adjuvant de coagulation au sulfate d'aluminium.

REMERCIEMENTS

Nous remercions la Société Nationale des Eaux du Bénin (SONEB) pour avoir facilité les prélèvements d'échantillons d'eau dans la retenue de l'Okpara, ainsi que la Direction Générale de l'Eau (DGEau) et le Laboratoire d'Hydrologie Appliquée de la FAST (UAC) pour avoir permis de faire certaines analyses physico-chimiques.

REFERENCES

- Angelica MS, Marcelo F, Gabriel F, Álvaro A, Márcia R, Márcia T, Rosângela B. 2010. Use of *Moringa oleifera* Seed as a Natural Adsorbent for Wastewater Treatment. *Water Air Soil Pollut.*, **206**: 273–281.
- El Araby R, Hawasha S, El Diwania G. 2009. Treatment of iron and manganese in simulated groundwater via ozone technology. *Desalination*, **249**(3): 1345-1349.
- Bawa LM, Djanéyé-Boundjou G, Soulémane AG, Kpékpassi L. 2008. Etude de la clarification d'une eau de surface par une substance naturelle (les extraits de *Moringa oleifera* Lam): Incidence sur la demande en chlore. *Phys. Chem. News*, **42**: 133-138.
- Beltrán-Heredia J, Sánchez-Martin J. 2009. Improvement of water treatment pilot

- plant with *Moringa oleifera* extract as flocculant agent. *Environmental Technology*, **30**(6): 525-534.
- Bhatia S, Othman Z, Ahmad AL. 2007. Pretreatment of palm oil mill effluent (POME) using *Moringa oleifera* seeds as natural coagulant. *Journal of Hazardous Material*, **145**(1-2): 120-126.
- Burgera MS, Mercera SS, Shupe GD, Gagnon GA. 2008. Manganese removal during bench-scale biofiltration. *Water Research*, **42**(19): 4733-4742.
- CENATEL. 2003. Banques de données intégrées. Ministère de l'Agriculture de l'Élevage et de la Pêche (MAEP), Bénin.
- Chandra SK, Kamala CT, Chary NSN, Anjaneyulu Y. 2003. Removal of heavy metals using a plant biomass with reference to environmental control. *Int. J. Miner Process*, **68**: 37-45.
- Choo KH, Lee H, Choi SJ. 2005. Iron and manganese removal and membrane fouling during UF in conjunction with prechlorination for drinking water treatment. *J. Memb. Sci.*, **267**: 18-26.
- Eman NA, Suleyman A, Muyibi HM, Salleh, Zahangir AM, Mohd RM. 2010. Production of Natural Coagulant from *Moringa oleifera* Seed for Application in Treatment of Low Turbidity Water. *Journal of Water Resource and Protection*, **2**: 259-266.
- García-Mendieta A, Olgún MT, Solache-Ríos M. 2012. Biosorption properties of green tomato peel (*Physalis philadelphica* Lam) for iron, manganese and iron-manganese from aqueous systems. *Desalination*, **284**: 167-174.
- Jose MC, Joseph OF, Andrea MD, William RK, Chad WM, Amy P. 2010. Manganese-oxidizing and reducing microorganisms isolated from biofilms in chlorinated drinking water systems. *Water Research*, **44**: 3935-3945.
- Katayon S, Noor MJ, Asma M, Ghani LA, Thamer AM, Azni I. 2006. Effects of storage conditions of *Moringa oleifera* seeds on its performance in components from *Moringa oleifera* seeds. *Water Research*, **33**(15): 3373-3378.
- Katsoyiannisa IA, Zikoudib A, Huga JS. 2008. Arsenic removal from groundwaters containing iron, ammonium, manganese and phosphate: A case study from a treatment unit in northern Greece. *Desalination*, **224**(1-3): 330-339.
- Liew AG, Noor MJ, Muyibi SA, Fugara AM, Muhammed TA, Iyuke SE. 2006. Surface water clarification using *M. oleifera* seeds. *Int. J. Environ. Studies*, **63**(02): 211-219.
- Masoud RM, Navid N, Zienab D, Esmail B. 2013. Removal of Fe (II) from aqueous solution using pomegranate peel carbon: equilibrium and kinetic studies. *International Journal of Industrial Chemistry*, **4**: 19.
- Muwanga A, Barifaidjo E. 2006. Impact of industrial activities on heavy metal loading and their physic-chemical effects on wetlands of lake Victoria basin (Uganda). *Afr. J. Sci. Tech.*, **7**(1): 51-63.
- Okoniewsk E, Lacha J, Kacprzaka, Neczaja E. 2007. The removal of manganese, iron and ammonium nitrogen on impregnated activated carbon. *Desalination*, **206**(1-3): 251-258.
- OMS. 2004. *Guidelines for Drinking-water Quality* (3rd edn, vol. 1). WHO: Genève, Suisse.
- Qin S, Mab F, Huang P, Yang J. 2009. Fe(II) and Mn(II) removal from drilled well water: A case study from a biological treatment unit in Harbin. *Desalination*, **245**(1-3): 183-193.
- Shukla SR, Pai RS, Shendarkar AD. 2006. Adsorption of Ni(II), Zn(II) and Fe(II) on

- modified coir fibres. *Sep Purif Technol.*, **47**: 141–147.
- Tekerlekopoulou AG, Vayenas DV. 2007. Ammonia, iron and manganese removal from potable water using trickling filters. *Desalination*, **210**(1-3): 225-235.
- Tekerlekopoulou AG, Vasiliadou IA, Vayenas DV. 2008. Biological manganese removal from potable water using trickling filters. *Biochemical Engineering Journal*, **38**(3): 292-301.
- Zogo D, Bawa LM, Soclo HH, Djaneye-Boundjou G, Atchekpe D. 2010. Effect of pre-chlorination on the efficiency of iron and manganese removal from surface water by coagulation-flocculation using aluminum sulphate: case of the Okpara dam in the Republic of Benin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **4**(6): 2093-2101.
- Zogo D, Bawa LM, Soclo HH, Atchekpe D. 2011. Influence of pre-oxidation with potassium permanganate on the efficiency of iron and manganese removal from surface water by coagulation-flocculation using aluminum sulphate: Case of the Okpara dam in the Republic of Benin. *Journal of Environmental Chemistry and Ecotoxicology*, **3**(1): 1-8.