

Prétraitement de l'eau de mer par coagulation-floculation en lit fluidisé couplée à l'adsorption sur une argile algérienne modifiée

B. Cheknane^{1*}, F. Zermane², M.W. Naceur², M. Belhamel¹ et M. Pontie³

¹ Centre de Développement des Energies Renouvelables, B.P. 62, Route de l'Observatoire, Bouzaréah, Alger, Algérie

² Département de Chimie Industrielle, Université Saad Dahlab, B.P 270, Route de Soumaâ, Blida, Algérie

³ University of Angers, UMR-MA105 Landscape and Biodiversity, Laboratoire des Sciences de l'Environnement et de l'Aménagement 'LSEA', 2, B^d Lavoisier, 49045 Angers Cedex 1, France

(reçu le 26/10/05; accepté le 07/02/06)

Résumé - Le développement de nouvelles techniques de prétraitement de l'eau de mer s'avère intéressant pour garantir les performances du dessalement par osmose inverse. Le procédé de prétraitement utilisé dans cette étude est la coagulation - floculation en lit fluidisé couplé à l'adsorption sur une argile modifiée. Ce procédé nécessite de l'énergie électrique qui peut être fourni par des capteurs photovoltaïques. Les essais discontinus de l'adsorption sur l'argile modifiée pour un pH optimum (pH=3), révèlent une meilleure stabilité de la montmorillonite algérienne par rapport à la matière organique dissoute et les sels présents en solution pour 0.1 g / 100 ml d'eau de mer. D'autre part, le flocculateur en lit fluidisé utilisé dans les conditions optimales déjà fixées (pH=8, $[Al_2(SO_4)_3] = 100$ mg/l et $Q = 7$ l/h) permet d'atteindre une élimination de la turbidité de 90 %, et une élimination de la matière organique de 65 %. Le couplage entre les deux procédés permet d'améliorer le pourcentage d'élimination des acides humiques et de la turbidité respectivement de 75 % et 95 %, au bout de trois heures de contact. Par ailleurs, il est à noter que la conductivité accuse des diminutions au cours de différents essais de couplage.

Abstract - In RO desalination plant, pretreatment is a key component and RO plant performance depends on the efficiency of the pretreatment process used. It is, thus required to develop a new and innovative pretreatment technique. The pretreatment process used in this study consists of fluidized bed coagulation-flocculation coupled by adsorption onto modified montmorillonite. This process requires electric power which can be a baker by photovoltaic sensors. Adsorption kinetic study at optimal pH (pH = 3) revealed better stability on modified montmorillonite with respect to organic matter and salts included in solution which contain 0.1g/100ml of seawater. On the other hand the fluidized bed flocculator under the optimal conditions which are already determined (pH = 8, $[Al_2(SO_4)_3] = 100$ mg/l, $Q = 7$ l/h) achieved an organics matter elimination on the order of 65 % and turbidity decrease about 90 %. Combination of adsorption to coagulation-flocculation processes can increase the performance elimination of organic matter (humic acids) and turbidity respectively 75 % and 95 % with a time of three hours of contact. It is important to note that there are also reductions of the conductivity in all the tests of this new process.

Mots clés: Coagulation-floculation - Lit fluidisé - Adsorption - Montmorillonite modifiée.

1. INTRODUCTION

La recherche de techniques nouvelles et innovantes de prétraitement de l'eau de mer demeure d'actualité. Le but essentiel étant de mieux maîtriser cette étape clé dans une installation de dessalement. Par ailleurs une réévaluation de l'efficacité par rapport aux procédés conventionnels (compacité, temps de séjour et utilisation de matériaux adsorbants moins coûteux) est justifiable en raison des nouvelles exigences de qualité [1].

Le procédé de la floculation en lit fluidisé peut s'avérer d'un intérêt certain dans l'intensification des procédés conventionnels [1]. Il offre en effet un temps de séjour, des flux des boues et des concentrations de réactifs très avantageux, d'autre part l'adsorption révèle un potentiel important du point de vue économique en raison de la grande disponibilité des adsorbants et de sa facilité de mise en œuvre [2]. L'application de l'un des deux procédés n'élimine que partiellement les composés organiques de faible masse moléculaire qui sont responsables des phénomènes importants de colmatage des membranes d'osmose inverse. C'est pourquoi un couplage (adsorption – coagulation - floculation et d'autres) a été proposé au cours de ces dernières années [3].

La présente étude a pour objectif de montrer les performances de la floculation en lit fluidisé couplée à l'adsorption sur une argile algérienne modifiée afin de déterminer les paramètres optimaux du couplage précité.

2. MATERIELS ET METHODES

2.1 Caractéristiques de l'eau de mer

L'eau de mer utilisée dans les différents essais est une eau provenant de l'usine de dessalement de Ain Bénian. Le tableau 1 regroupe les caractéristiques physico-chimiques de cette eau.

* ocheknane@yahoo.fr

Tableau 1: Les propriétés physico-chimiques de l'eau mer

| Paramètres | Valeurs |
|--------------------------------------|---------|
| Température (°C) | 18 |
| pH | 7,81 |
| Conductivité (ms/cm) | 54,8 |
| Turbidité (NTU) | 2,95 |
| Absorbance UV à 254 nm | 0,357 |
| TDS (g/l) | 29,4 |
| Ca ⁺⁺ (mg/l) | 414 |
| Mg ⁺⁺ (mg/l) | 1396,58 |
| Na ⁺⁺ (mg/l) | 10125 |
| K ⁺ (mg/l) | 435 |
| SO ₄ ⁻² (mg/l) | 2773 |
| Cl ⁻ (mg/l) | 18234,6 |
| HCO ₃ ⁻ (mg/l) | 161,04 |
| NH ₄ ⁺ (mg/l) | < 0,02 |
| NO ₂ ⁻ (mg/l) | < 0,02 |
| PO ₄ ⁻² (mg/l) | < 0,09 |

Vu la faible teneur en matière organique, on a dopé l'eau de mer à 10 mg/l en acide humique.

2.2 Préparation de l'acide humique

L'acide humique utilisé est de source commerciale (Accros, USA). Une solution à 1 g/l est obtenue en dissolvant 1 gramme d'acide humique dans 62,5 ml d'une solution de NaOH (2N), et complétée avec de l'eau distillée jusqu'à 1 litre. Cette solution est agitée pendant 24 heures et conservée à l'abri de la lumière à 4 °C.

2.3 Préparation de l'adsorbant

Après avoir préparé la montmorillonite homoionisée au sodium par une série de lavages successifs à l'eau distillée et à l'aide d'une solution de chlorure de sodium, on intercale cette structure par l'ajout de polychlorure à base d'aluminium (PCBA) de formule chimique $[Al_{13}O_4(OH)_{24}(H_2O)_{12}]^{+7}$ pour conférer à cette matrice le caractère inorganique. Une co-adsorption par fixation d'un tensioactif cationique à base de bromure (CTAB) de formule chimique $CH_3(CH_2)_{15}-N(CH_3)_3^+, Br^-$ a été faite pour augmenter l'hydrophobie de l'adsorbant et par conséquent l'augmentation de son affinité vis-à-vis les acides humiques. Les conditions de préparation de cet adsorbant sont décrites selon la procédure donnée par la littérature [4, 2].

2.4 Unité expérimentale

Le schéma de principe du dispositif utilisé est représenté sur la figure 1.

L'étude expérimentale a été réalisée pour le prétraitement de l'eau de mer de la station de Ain Bénian, dopée à 10 mg/l sur un pilote constitué d'une colonne cylindrique de 4 cm de diamètre et de 1,40 m de hauteur, alimentée par une pompe à débit variable et garnie sur une hauteur de 60 cm avec des particules de résine inerte de diamètre moyen de 0,75 mm. Cette colonne est munie d'un ensemble de prises de pression situées à 10 cm l'une de l'autre permettant la mesure de la perte de charge occasionnée le long de la colonne. Le coagulant sulfate d'aluminium est injectée à l'aide d'une pompe péristaltique le long d'un tube venturi assurant le contact intime entre le coagulant et la suspension.

Par ailleurs, un décanteur lamellaire incliné d'un angle de 45 ° par rapport à l'horizontale est placé à la sortie de la colonne. Un secoueur type 'MLW' munie d'une série d'erlenmeyer de 300 ml est placé à la sortie du décanteur pour la phase d'adsorption.

Les cinétiques d'adsorption sont effectuées avec une suspension qui contient 100 ml d'eau de mer et une masse d'adsorbant de 0,1 g. Le pH est ajusté par l'acide chlorhydrique (0,1N) et de l'hydroxyde de sodium (0,1N). A des intervalles de temps réguliers, des prélèvements sont effectués et filtrés sur des membranes de 0,45 µm. Des mesures de l'absorbance UV à 254 nm, de la turbidité et de la conductivité ont été effectuées pour chaque prélèvement.

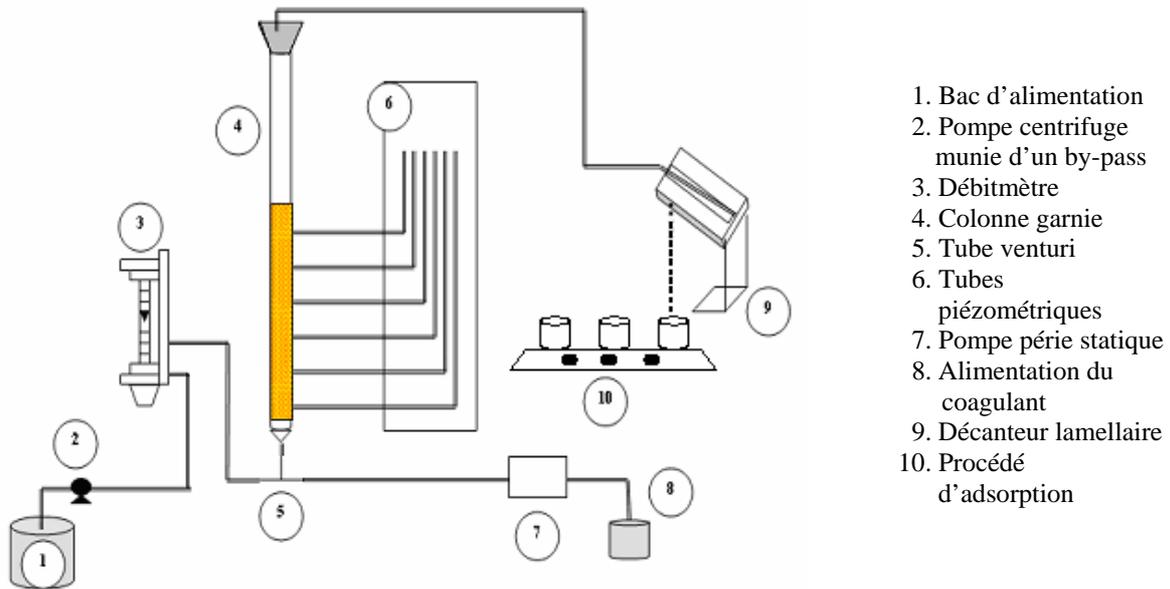


Fig. 1: Dispositif expérimental

3. RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.1 Procédé de la coagulation - floculation en lit fluidisé

Le but de cette étude est de déterminer les paramètres optimaux de la coagulation-floculation en lit fluidisé, à savoir :

- Le débit d'alimentation.
- Le temps de séjour
- La concentration du coagulant.

Pour un $\text{pH} = 8$ et une concentration de coagulant de 100 mg/l , des essais de la coagulation - floculation en lit fluidisé ont été réalisés à une hauteur de 60 cm du lit, en faisant varier le débit d'alimentation de 4 à 15 l/h . Des prélèvements à des intervalles de temps réguliers ont été effectués pendant une durée de 12 heures, afin de quantifier l'efficacité du système par la mesure de l'absorbance UV à 254 nm et la turbidité.

Les variations des pourcentages d'élimination de la matière organique (acide humique) et de la turbidité par coagulation - floculation en lit fluidisé sont représentées respectivement dans les figures 2 et 3.

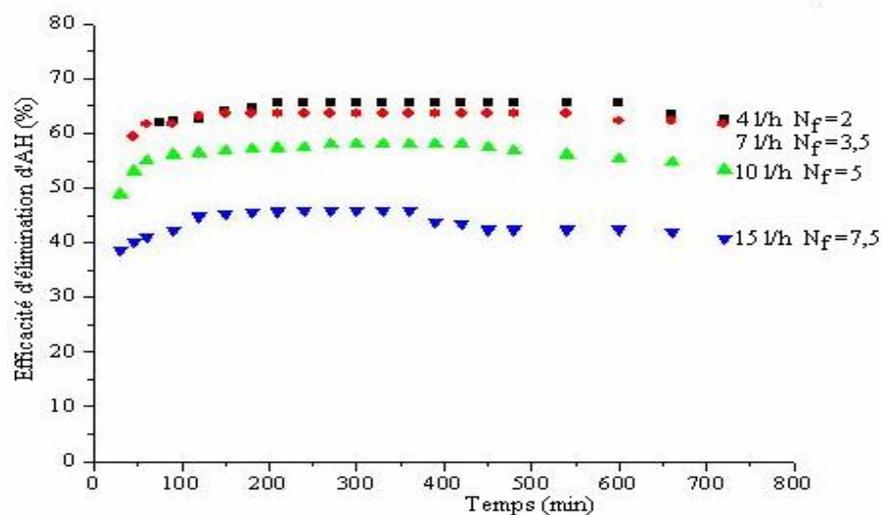


Fig. 2: Evolution de l'efficacité d'élimination des acides humiques en fonction du temps à différents débits

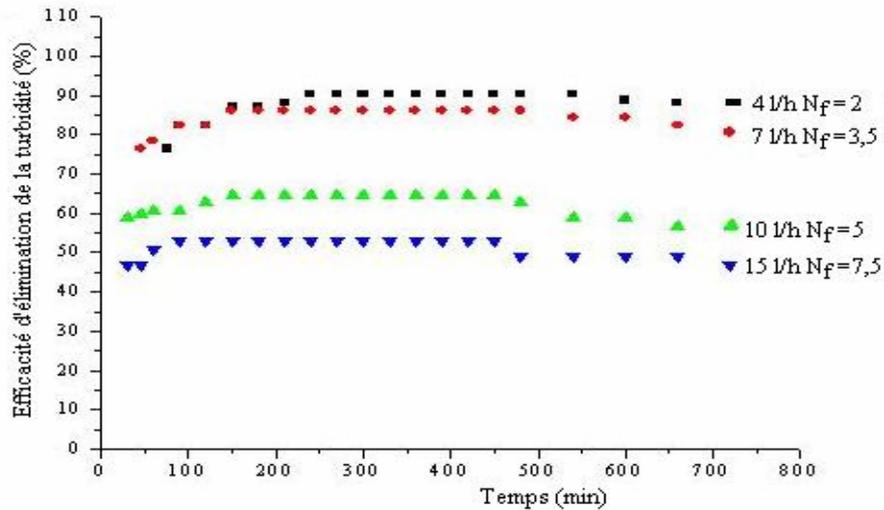


Fig. 3: Evolution de l'efficacité d'élimination de la turbidité en fonction du temps à différents débits

Pour un temps de traitement de 4 heures, il apparaît que lorsque le débit d'alimentation passe de 4 à 7 l/h, les efficacités de l'abattement de la matière organique et de la turbidité restent comparables. Cette observation permet d'envisager un débit de 7 l/h correspondant à un temps de séjour de 4,48 minutes.

Afin de déterminer le débit optimum de la floculation en lit fluidisé, nous avons procédé à une variation croissante de la concentration d'Alun dans l'intervalle [60, 130 mg/l].

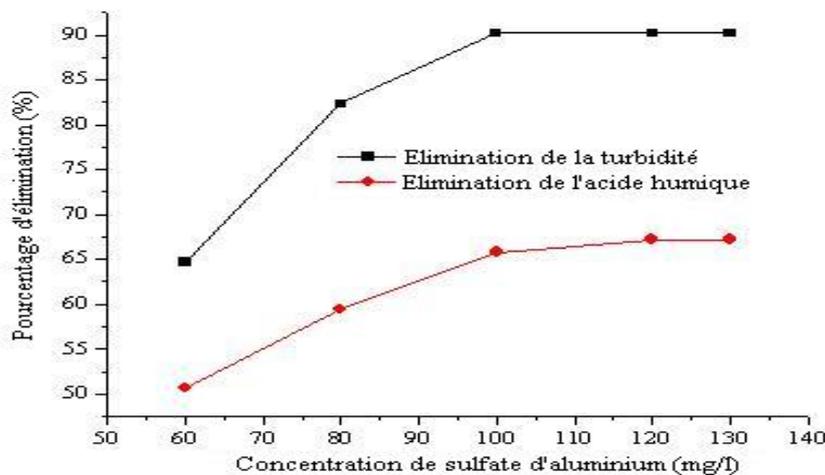


Fig. 4: Efficacité de la floculation en lit fluidisé en fonction de la concentration du coagulant

La figure 4, représente les efficacités d'élimination de la matière organique et de la turbidité en fonction de la dose d'Alun, nous remarquons qu'à partir d'une dose d'Alun de 100 mg/l, l'élimination des acides humiques et de la turbidité devient indépendante de la concentration de coagulant, ce qui nous a permis de dégager la concentration de 100 mg/l comme concentration optimale.

3.2 Procédé d'adsorption sur la bentonite algérienne modifiée

Pour un temps d'équilibre de 3 heures, les résultats d'adsorption de la matière organique (acides humiques) sur l'argile modifiée en fonction des différents pH sont représentés par la figure 4.

Cette courbe montre que les meilleures efficacités sont atteintes à $\text{pH} = 3$ correspondant à 70 % d'élimination des acides humiques, par contre aux pH basiques elle n'excède pas 55 %. Plusieurs travaux [5, 6, 7] ont montré que la variation du pH à une influence directe sur l'adsorption, une diminution du pH est suivie d'une augmentation de l'efficacité. En effet à des pH acides, les macromolécules humiques sont ionisées mais elles se comportent telles que des molécules neutres qui peuvent pénétrer dans l'espace inter lamellaire et déplacer les molécules d'eau entre les couches aluminosilicates des argiles.

3.3 Renforcement de coagulation - floculation par l'adsorption

Afin de déterminer les conditions optimales de la floculation en lit fluidisé et de l'adsorption, il convient maintenant d'aborder le couplage des deux procédés.

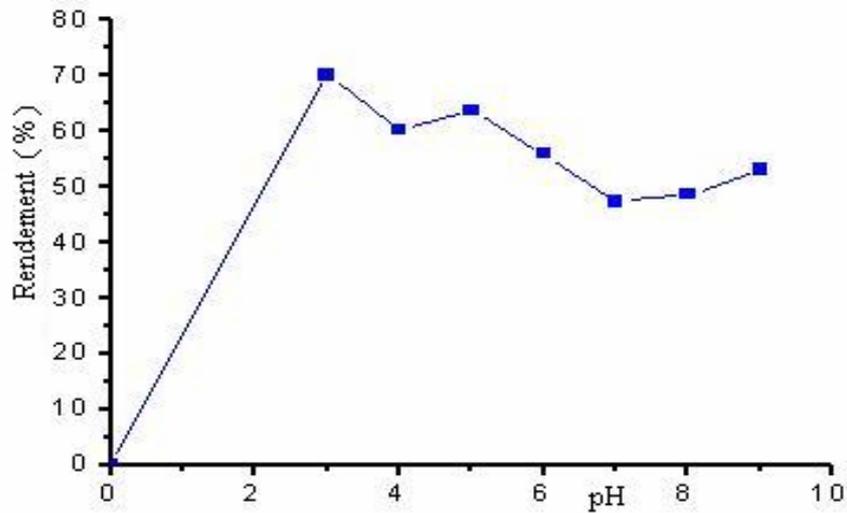


Fig. 5: Rendement d'élimination de la matière organique à différents pH pour le procédé d'adsorption

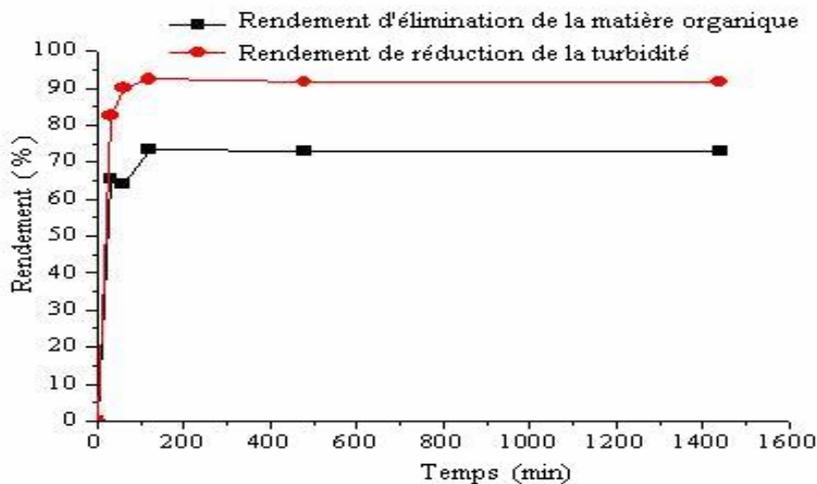


Fig. 6: Rendement d'élimination des acides humiques par procédé de couplage à pH = 3

La figure 6 illustre les pourcentages d'éliminations des acides humiques et de la turbidité en fonction du temps. Nous constatons que le couplage des deux procédés a amélioré les rendements d'élimination des acides humiques et de la turbidité respectivement de 75 % et 95 %, dans un temps de 3 h qui correspond au temps d'équilibre, et cela est due essentiellement à l'existence d'une réactivité élevée des acides humiques vis-à-vis des matrices pontées mixtes (adsorbant préparé) [8, 9]. D'autre part une amélioration de 25 % d'élimination de la conductivité a été observée.

Ce phénomène de déminéralisation peut être expliqué par le fait qu'à pH = 3, le type d'échange est anionique, ce qui implique une surface chargée positivement donc l'affinité de l'argile vis-à-vis des anions augmente. Dans ce cas, nous suggérons que la présence des Cl^- à des concentrations élevées (20 g/l) dans l'eau de mer provoque vraisemblablement la fixation des Cl^- sur la surface de l'argile et par conséquent une diminution de la conductivité. De plus, la formation des complexes par interaction entre les groupements fonctionnels de l'acide humique et les cations Ca^{++} et Mg^{++} vont favoriser leurs élimination lors de l'abatement de la matière organique qui est très importante (74 %) à pH = 3.

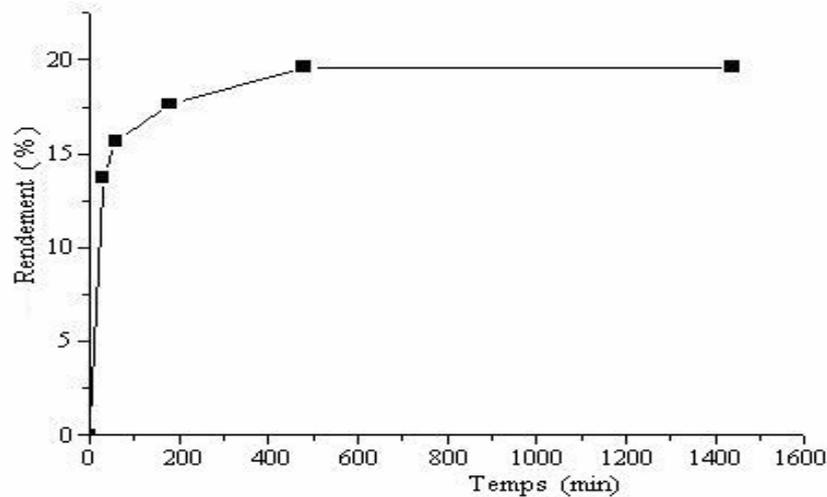


Fig. 7: Rendement de réduction de la conductivité à pH = 3

4. CONCLUSION

L'étude de la coagulation - floculation en lit fluidisé couplée à l'adsorption sur argile modifiée nous a permis de dégager les conclusions suivantes:

- ◆ La floculation en lit fluidisé révèle une réduction des acides humiques de l'ordre de 65 % en terme de l'absorbance UV à 254 nm et de 90 % de turbidité;
- ◆ Le procédé d'adsorption présente une efficacité maximale d'élimination des acides humiques de l'ordre de 70 % et de 75 % en terme de turbidité à pH acide (pH = 3);
- ◆ Le procédé de couplage nous a permis d'améliorer les performances d'élimination de la matière organique à 75 % et à 95 % pour la turbidité, tandis que la réduction de la conductivité atteint les 25 %.

Il est important de signaler que la réduction inattendue de la conductivité par une bentonite synthétique intercalée pour les eaux à forte salinité dans des conditions spécifiques de pH ouvre des perspectives intéressantes dans le domaine de dessalement de l'eau de mer.

REFERENCES

- [1] B. Cheknane, N. Aït Messaoudene, M.W. Naceur and F. Zermane, 'Fluidized Bed Flocculation - Coagulation of Seawater from the Algiers Area', *Desalination*, Vol. 179, pp. 273 - 280, 2005.
- [2] F. Zermane, M.W. Naceur, B. Cheknane and N. Aït Messaoudene, 'Adsorption of Humic Acids by a Modified Algerian Montmorillonite in Synthesized Seawater', *Desalination*, Vol. 179, pp. 375 - 380, 2005.
- [3] D. Abdessemed and G. Nezzal, 'Treatment of Primary Effluent by Coagulation - Adsorption - Ultrafiltration for Reuse', *Desalination*, Vol. 152, pp. 367 - 373, 2003.
- [4] O. Bouras, 'Propriétés Adsorbantes d'Argiles Pontées Organophiles : Synthèse et Caractérisation', Thèse de Doctorat, Université de Limoges, France, 2003.
- [5] D.A. Wibulswars and R. White et Rautiu, 'Removal of Humic Substances from Water by Alumina-Based Pillared Clay', *Enviro-Tech*, Vol. 19, pp. 627 - 632, 1998.
- [6] S. Amin and G.G. Jayson, 'Humic Substance uptake by Hydrocalclites and Pils', *Water Res.*, N°30, pp. 253 - 279, 1972.
- [7] M. Schnitzer and S.U. Kham, 'Humic Substance in the Environment', Marcel Dekker INC, in New York, pp. 253 - 279, 1972.
- [8] K. Schellenberg, C. Leunberger and R.P. Schwarzenbach, 'Sorption of Chlorinated Phenols by Natural Sediments and Aquifer Materials', *Sci. Technol*, Vol. 18, pp. 652 - 657, 1984.
- [9] S.W. Karichoff, D.S. Brouwn and T.A. Scott, 'Sorption of Hydrophobic Pollutants on Natural Sediments', *Water Res.*, Vol. N°13, pp. 241 - 250, 1979.