

VALORIZATION OF AN INDUSTRIAL WASTE RICH IN FERRIC CHLORIDE: APPLICATION IN THE TREATMENT OF INDUSTRIAL WASTEWATER

VALORISATION D'UN REJET INDUSTRIEL RICHE EN CHLORURE FERRIQUE : APPLICATION AUX TRAITEMENTS DES EAUX RESIDUAIRES

**Abdelkader Anouzla^{*}, Salah Souabi, Mohamed Safi,
Hicham Rhbal, Younes Abrouki, Abdelhak Majouli**

*Université Hassan II, Faculté des Sciences et Techniques Mohammedia,
Laboratoire de Génie de l'Eau et de l'Environnement,
Imm A13 N°19 ELmanzeh CYM Rabat, Morocco*

*Corresponding author: aanouzla@gmail.com

Received: December 24, 2009

Accepted: April 7, 2010

Abstract: Intense coloring due to the presence of the non biodegradable dyes, often toxic, in industrial wastewater, enormously poses problems of degradation of the receiving medium (i.e. surface waters). This study relates to the control of pollution of the industrial wastewater with physicochemical treatment by using an industrial waste rich in ferric chloride like original coagulant. This was tested for the control of pollution of the liquid effluents from the textile industry strongly polluted with organic matter. Several parameters were selected to control the purification of our effluents: turbidity, chemical oxygen demand (COD), and volume of sludge.

The optimal concentration of the coagulant used in this treatment varies from one waste to another, according to the polluting load to treat. The output of this physicochemical treatment shows an important reduction of the polluting load of textile wastewaters: 91 – 87% of the organic matter and 84 – 85% of suspended solids, with less sludge production.

Keywords: *physicochemical treatment, coagulant, textile wastewater, turbidity, COD, sludge volume*

Résumé: La coloration intense due à la présence des colorants souvent toxiques non biodégradables dans les eaux usées industrielles, pose énormément des problèmes de dégradation du milieu récepteur (eau de surface, ...).

Cette étude concerne la lutte contre la pollution des rejets industriels par traitement physico-chimique en utilisant un rejet industriel riche en chlorure ferrique comme coagulant original. Ce dernier a été testé pour la lutte contre la pollution des effluents liquides de l'industrie de textile fortement pollués en matières organiques. Plusieurs paramètres ont été choisis pour contrôler l'épuration de nos effluents. On peut citer : la turbidité, la demande chimique en oxygène (DCO) et le volume de la boue décantée.

La concentration optimale du coagulant utilisée dans ce traitement varie d'un rejet à l'autre selon la charge polluante à traiter. Les résultats de ce traitement physicochimique montre une réduction importante de la charge polluante de ces rejets industriels (91 – 87% de la matière organique et 84 – 85% de la matière en suspension) avec une production moindre de boues.

Mots clés : *traitement physico-chimique, coagulant, rejet de textile, turbidité, DCO, volume de la boue.*

INTRODUCTION

L'eau est un élément indispensable pour la vie, il joue un rôle primordial au sein de l'économie nationale. Les prélèvements d'eau pour l'ensemble des industries représentent 32% du volume total prélevé sur la source en eau [1]. La pollution de ces eaux constitue l'une des préoccupations majeures des chercheurs.

Au pays en voie de développement comme le Maroc, les effluents industriels sont versés dans les réseaux d'assainissements sans aucun traitement préalable à cause de l'absence d'une politique environnementale et du manque de la planification et la divulgation des pratiques irresponsables.

Ces effluents représentent un danger sur la santé humaine et une contamination du milieu marin, d'eau douce des rivières et des lacs et une influence sur les eaux souterraines [2], ainsi que la vie aquatique, en plus du dégagement des mauvaises odeurs.

Parmi les industries qui consomment et polluent les eaux figure l'industrie textile. La teinture de 1 kg de coton nécessite presque 150 litres d'eau, 0,6 kg de NaCl, 50 g de colorant réactifs [3]. Les rejets de bain de teinture et de rinçage sont caractérisés par des quantités élevées en colorants, des quantités significatives en matières en suspension, des agents de dispersion, des sels, et des traces des métaux et des concentrations élevées en DCO [4].

Le secteur des textiles occupe une place prépondérante dans l'économie marocaine. Près de 30% des entreprises industrielles agissent dans ce secteur et fournissent 15% de l'emploi et concordent à 44% des exportations. Dans un contexte de globalisation des économies, ces entreprises doivent se préparer à une concurrence accrue sur les marchés internationaux, en particulier en Europe qui accapare 70% des exportations marocaines.

L'étude effectuée par le Ministère Marocain de l'environnement [5] a montré que la consommation en eau par les différentes phases de procédés de fabrication dans l'industrie textile varie de 20 à 40 m^3/t dans le cas du blanchissement, de 60 à 100 m^3/t pour la teinture et de 80 à 150 m^3/t dans le cas de l'impression.

Les rejets industriels de l'industrie textile sont parmi les rejets qui induisent d'importantes nuisances sur l'environnement. Les effluents textiles sont caractérisés dans la majorité des cas par leur forte charge de matière organique, des valeurs élevées de pH, de températures élevées [6] et des faibles biodégradabilités [7] en plus de leur mauvaises odeurs, la corrosion du réseau d'assainissement par les sulfures, la fermentation et de hauts risques sanitaires.

La lutte contre la pollution de ces rejets devient une nécessité pour réduire au moins les effets néfastes des rejets toxiques sur notre environnement par des techniques simples à mettre en œuvre et dont l'exploitation est facilitée.

Même si plusieurs techniques de traitement ont été testées pour lutter contre la pollution des effluents textiles, seulement les procédés économiquement acceptables de par leur faible coût sont sollicités. Une large variété des procédés physicochimiques a été proposée (coagulation - floculation, adsorption, oxydation chimique, photolyse, photocatalyse, electrophotocatalyse, électrocoagulation, filtration membranaire, échange d'ions).

Le processus de coagulation - floculation permet d'éliminer une grande charge de la matière organique, de la matière en suspension et a un bon rendement en décoloration. Il présente un premier traitement nécessaire avant le traitement biologique [8]. Cette technique est moins coûteuse et facile à appliquer et ne demande pas des espaces. Elle est certes avantageuse même pour les infrastructures des petites unités industrielles.

Au cours des 20 dernières années, de nouveaux coagulants, inorganiques et organiques, ont été employés afin d'essayer d'améliorer l'élimination de la matière organique et les matières en suspensions. Pour le traitement des eaux usées urbaines et industriels, l'optimisation de la coagulation nécessite le dosage du coagulant et du pH afin d'assurer l'atteinte de meilleurs objectifs [9].

L'objet de cette étude est la valorisation d'un rejet industriel riche en chlorure ferrique (RIRCF) comme coagulant original pour la lutte contre la pollution de deux effluents liquides de l'industrie de textile.

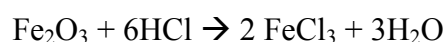
MATERIELS ET METHODES

Caractérisation du coagulant RIRCF

Le nouveau coagulant RIRCF [10] est un rejet industriel riche en chlorure ferrique. Ce rejet est collecté à partir d'une unité de fabrication et galvanisation des tubes de fer. La caractérisation de ce coagulant est illustrée sur le Tableau 1.

La source de rejet est l'élimination des couches d'oxydes par un décapage chimique avec l'acide chlorhydrique.

Oxyde ferrique



Oxyde magnétique



Oxyde ferreux



Tableau 1. Caractérisation du RIRCF

Paramètres	Valeur
pH	< 1
Conductivité [mS/cm]	27000
Fe ³⁺ [mg/L]	1790
Cu ²⁺ [mg/L]	1,145

Mode opératoire

Les tests de coagulation floculation ont été réalisés selon les conditions proposées par [11] en utilisant une floculation à hélices (Jar test) muni de six béchers d'un litre. La coagulation a été réalisée sous agitation rapide à 250 tpm pendant 20 minutes. L'introduction du coagulant et la régularisation de pH se sont fait pendant cette étape par ajout d'une quantité nécessaire de solutions concentrées de RIRCF. L'étape d'agitation lente (floculation) a été effectuée à 30 tpm, pendant 30 minutes. Un temps de décantation d'une heure a été choisi avant la mesure de la turbidité, de la DCO, de la coloration et les boues décantées.

La turbidité est mesurée par néphélométrie à l'aide d'un turbidimètre de laboratoire et exprimée en UTN (*Unité de Turbidité Néphélométrique*).

La DCO est déterminée par l'oxydation en milieu acide par l'excès de dichromate de potassium à la température de 150 °C [12], des matières oxydables dans les conditions de l'essai en présence de sulfate d'argent comme catalyseur et de sulfate de mercure.

Caractérisation des rejets à traiter

Les résultats des paramètres analysés de deux effluents de l'industrie de textile choisis pour cette étude sont illustrés sur le Tableau 2.

Tableau 2. Caractérisation des rejets à traiter

Paramètres	Effluent 1 (APRETEC)	Effluent 2 (ICOMA)
pH	12,22	7,8
Conductivité [mS/cm]	59	7
Turbidité [UTN]	879	174
DCO [mg/L]	9411,76	960
DBO ₅ [mg/L]	425	40
NTK [mg N/L]	116	74
P _{total} [mg/L]	2,8	4,15
DCO/DBO ₅	22,14	24

Les résultats de la caractérisation de l'effluent de la société APRETEC ont montré des teneurs élevées en DCO et en DBO₅ (DCO = 9411,76 mg/L, DBO₅ = 425 mg/L) tandis que l'effluent de la société ICOMA montre des charges polluantes moyennes en DCO et DBO₅.

Le rapport DCO/DBO₅ enregistre des valeurs trop élevées montrant que les deux effluents sont non biodégradables ce qui montre que la technique de traitement physicochimique est nécessaire pour la lutte contre la pollution des deux rejets.

En outre, ces rejets sont moins riches en phosphate totale tandis que les concentrations en NTK sont très importantes dans le cas des deux rejets industriels. Ces effluents sont susceptibles de véhiculer toutes les substances toxiques, biodégradables ou non biodégradables.

RESULTATS OBTENUS

Variation du pH du rejet étudié en fonction du volume du coagulant RIRCF

Le suivi de la variation du pH durant l'ajout des volumes croissants du coagulant RIRCF à une série de béchers de 1 litre contenant les rejets à traiter (APRETEC et ICOMA) est illustré sur la Figure 1.

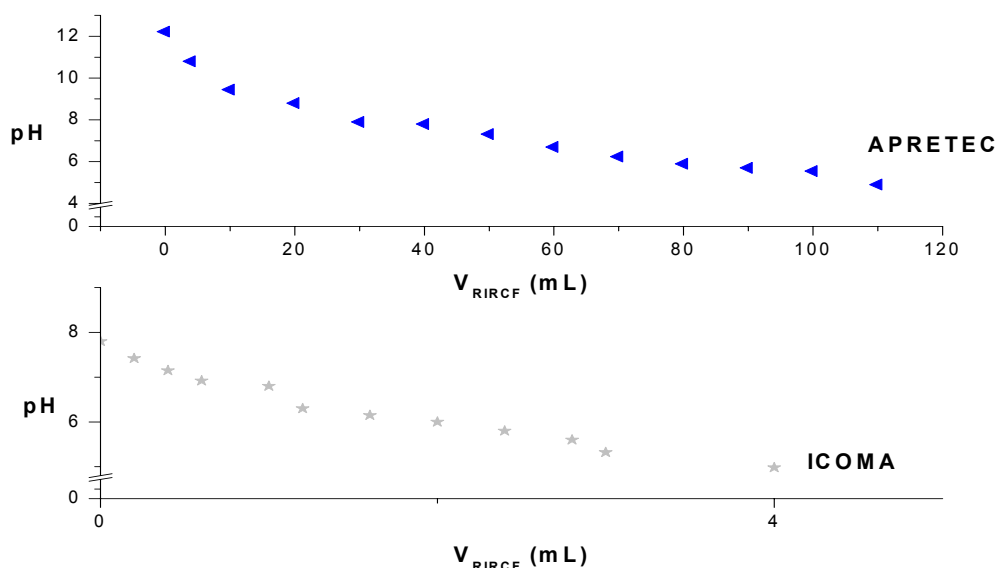


Figure 1. Variation du pH des rejets étudiés en fonction du volume du RIRCF

Notons également que le suivi du pH des solutions floculées a montré une diminution progressive au fur et à mesure de l'accroissement de la dose de coagulant introduit. Ce qui était prévisible du fait des réactions d'hydrolyse du chlorure ferrique. Ceci s'accompagne d'une production importante des floes.

Les volumes du RIRCF ajoutés dans le cas de l'effluent de la société APRETEC sont très importants devant celui ajouté dans le cas de l'effluent provenant de la société ICOMA. Ceci est dû à la charge polluante à traiter (forte charge en DCO dans le cas de la société APRETEC et charge moyenne dans le cas de l'unité ICOMA).

Détermination du pH optimal

Dans le procédé de coagulation - floculation [13] il est très important d'ajuster le pH puisque la coagulation se produit dans une marge spécifique de pH pour chaque coagulant et selon le type et la caractéristique d'effluent brute à traiter. Pour le coagulant classique FeCl_3 , le pH optimal est compris entre 4 et 12 [14].

Dans une série de béchers de 1 litre contenant les rejets étudiés, on ajoute un volume fixe de RIRCF (volume optimal), on ajuste le pH par ajout de l'acide sulfurique ou l'hydroxyde de sodium. Le mélange est agité selon le mode opératoire précédemment cité (Méthode Jar test).

Les résultats obtenus du rendement de la DCO en fonction du pH pour les deux rejets étudiés sont donnés sur la Figure 2.

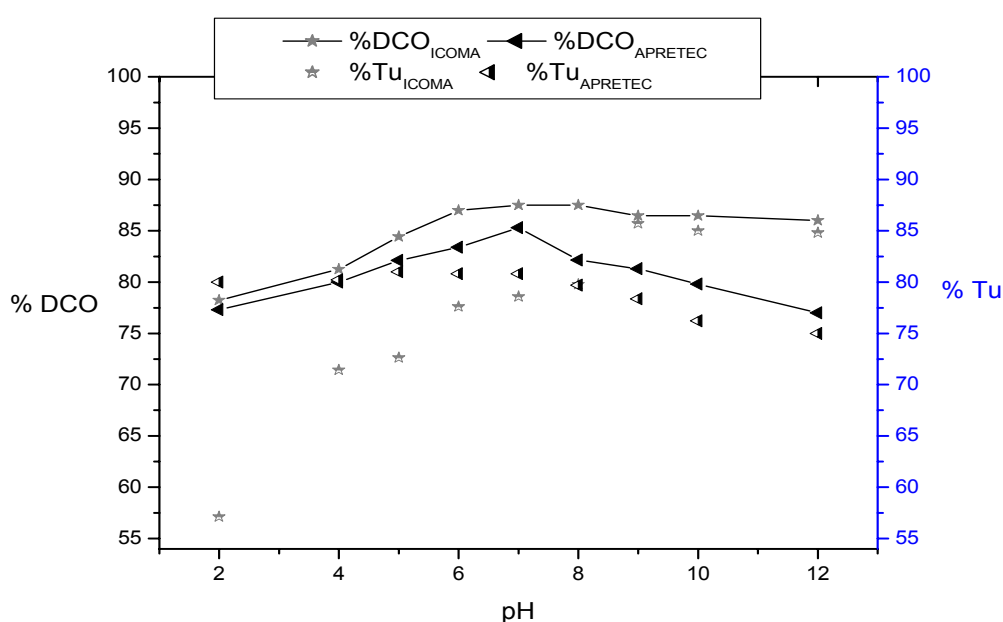


Figure 2. Rendement d'élimination de la DCO et de la turbidité en fonction de pH

Le pH optimal est environ de 6-7 pour trois effluents. C'est le même pH optimal de coagulant classique FeCl_3 [15].

Détermination de volume optimal du coagulant RIRCF

La maximisation de la déstabilisation des particules et des colloïdes organiques et inorganique pour faciliter leur agglomération et leur enlèvement subséquent, par un procédé de séparation solide liquide, nécessite la minimisation du volume en coagulant résiduel.

On varie la dose de coagulant de 5 mL à 110 mL, la valeur optimale de coagulant est obtenue à $V = 30 \text{ mL/L}$ (Figure 3). Pour obtenir un meilleur rendement de l'élimination de la DCO et de la turbidité, on varie la dose de coagulant de 0,2 mL à 3 mL (Figure 4). Les résultats montrent que le coagulant RIRCF est efficace pour l'élimination de la

turbidité et la DCO même à des faibles volumes et que la dose optimale du coagulant égale à 0,4 mL/L.

La dose optimale de coagulant et le rendement d'élimination de DCO et la turbidité dépendent de propriété physico-chimique de l'effluent brut. En effet pour le coagulant classique FeCl_3 [16] ont étudié le traitement des eaux usées de teinturerie par le procédé coagulation, le traitement d'un effluent dont la teneur en DCO est de 1035 mg/L par un dose optimal de FeCl_3 égale 200 mg/L a permis l'élimination de 82% de la DCO. D'autre part avec une dose des 150 mg/L de FeCl_3 le taux d'élimination de la DCO d'un effluent brut de teinturerie [17] avec une concentration en DCO de 250 mg/L est 66%.

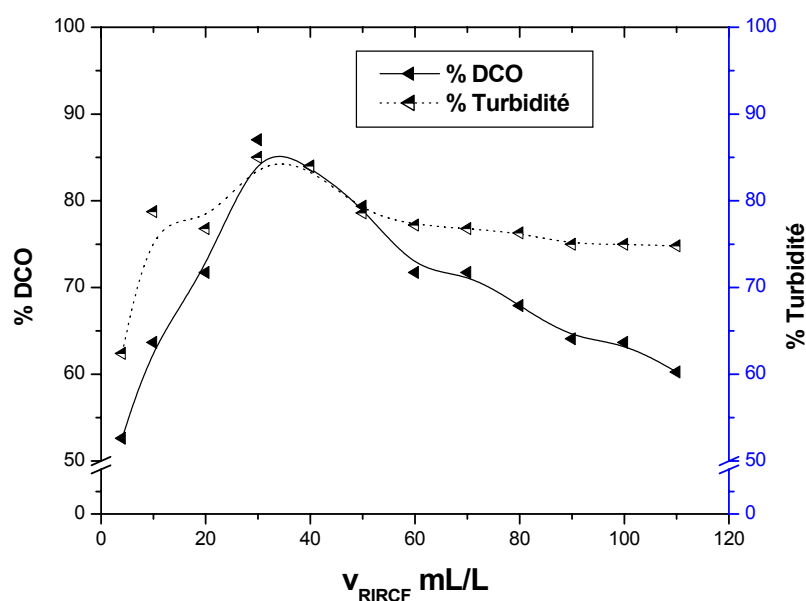


Figure 3. Variation du rendement d'élimination de la DCO et turbidité APRETEC

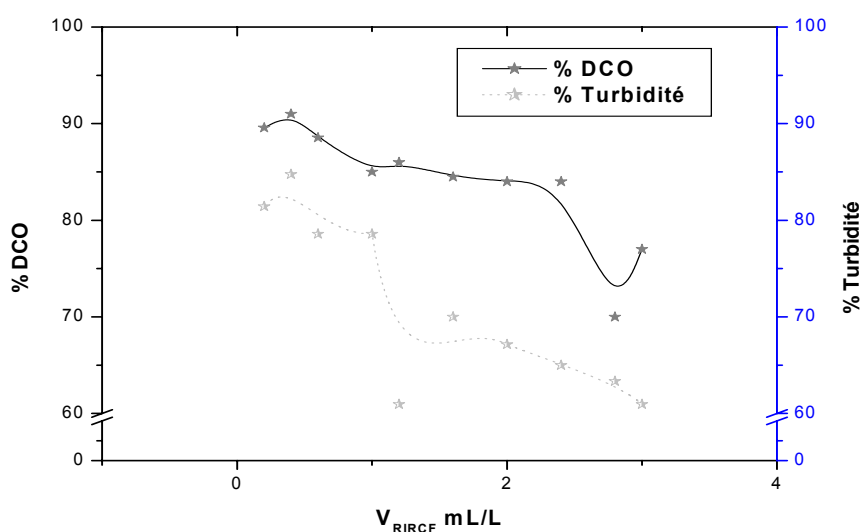


Figure 4. Variation d'élimination de la DCO et turbidité ICOMA

Etude comparative entre RIRCF et FeCl_3

Plusieurs paramètres ont été envisagés pour comparer l'efficacité du nouveau coagulant RIRCF et du coagulant classique FeCl_3 (Tableau 3).

Les résultats du Tableau 3 montrent que les rendements d'élimination de la DCO, DBO_5 et de la couleur pour le nouveau coagulant RIRCF sont similaires aux résultats obtenus par le coagulant classique FeCl_3 .

Tableau 3. Etude comparative entre RIRCF et FeCl_3

Coagulant	RIRCF		FeCl_3	
	ICOMA	APRETEC	ICOMA	APRETEC
C_{optim} [mL/L]	0,4	30	300	3500
V_{boues} [mL/L]	32	430	48	500
% DCO	91	87	90	86
% DBO_5	90	83	90	84
pH_{optim}	6	6-7	6	8-9
% décoloration	98	96	98	96
% NTK	86	70	86	68

Le premier aspect à prendre en considération pour le choix du coagulant est la quantité de la boue produite [18]. Cela peut affecter la faisabilité économique des méthodes proposées. Le volume de boue d'effluent APRETEC est très élevé (430 mL/L), car il est chargé en matière organique (colorant). Pour l'effluent ICOMA on a une faible quantité des boues 32 mL/L. Les deux résultats sont inférieurs aux résultats obtenus par FeCl_3 .

Le nouveau coagulant RIRCF donne une meilleure réduction de la l'azote total Kjeldahl NTK (86% pour ICOMA et 70% pour APRETEC). Cette élimination de l'azote au cours de processus du coagulation - floculation est liée à l'élimination des matières colloïdales et en suspension et aussi de l'azote qui est enlevé sous forme de l'albuminoïde.

CONCLUSION

Les essais de la coagulation - floculation réalisée ont montré que RIRCF est un coagulant efficace vis-à-vis à l'épuration des rejets liquides industriels du textile. Ce traitement permet simultanément l'élimination des polluants solubles et insolubles contenues dans ces effluents.

De même, ces essais ont montré que l'efficacité du nouveau coagulant RIRCF est similaire à celle du coagulant classique FeCl_3 avec une production minimale des boues pour le coagulant RIRCF.

En plus ce processus physicochimique est moins coûteux et ne demande pas beaucoup d'espace et pourrait s'adapter facilement pour la lutte contre la pollution due aux petites unités industrielles dispersées.

REMERCIEMENTS

Nous remercions les sociétés APRETEC, ICOMA, MAROC STEEL pour leurs collaborations.

LISTE DES SYMBOLES ET NOTATIONS

RIRCF	- Rejet Industriel Riche en Chlorure Ferrique
DCO	- Demande Chimique en Oxygène
DBO	- Demande Biologique en Oxygène
NTK	- Azote Total Kjeldahl

REFERENCES

1. Blieffert, C., Durani, S.: *Chimie environnement, air, eau, sols, déchets*, Deboeck Université, Paris, **2001**, 102-318;
2. Bouchard, C., Sérodes, J.: *Production d'eau potable*, Notes de cours, Université Laval, Laval, **2002**, 180-188;
3. Hessela, C., Allegrèa, C., Maisseub, M., Charbita, F., Moulina, P.: Guidelines and legislation for dye house effluents, *Journal of Environmental Management*, **2007**, 83, 171-180;
4. Tak-Hyun, K., Chulhwan, P., Jeongmk, Y., Sangyong, K.: Comparison of disperse and reactive dye removals by chemical coagulation and Fenton oxidation, *Journal of Hazardous Materials*, **2004**, 112, 95-103;
5. Ministère Marocain de l'Environnement: *Rapport national sur la mise en œuvre de la convention de lutte contre la désertification*, Rabat, **1999**, 14-15;
6. Kapdon, I.K., Alparslon, S.: Application of anaerobic-aerobic sequential treatment system to reel textile wastewater for color and DCO removal, *Enzyme and Microbial Technology*, **2005**, 36, 273-279;
7. Chahbane, N., Souabi, S., Almardhy, H., Schramm, K-W., Lenoir, D., Hustert, K., Kettrup, A.: Treatability assessment of textile wastewaters in Morocco, *Fresenius Environmental Bulletin*, **2002**, 11, 390-395;
8. Song, Z., Edyvean, G.J., Williams C.J.: Coagulation and anaerobic digestion of tannery wastewater, *Process Safety and Environmental Protection*, **2001**, 79 (1), 23-28;
9. Edzwald, J.K., Tobiason, J.E.: Enhanced coagulation: USA requirements and a broader view, *Water Science Technology*, **1999**, 40 (9), 63-70;
10. Anouzla, A., Abrouki, Y., Souabi, S., Safi, S., Rhbal, H.: Colour and COD removal of disperse dye solution by a novel coagulant: Application of statistical design for the optimization and regression analysis, *Journal of Hazardous Materials*, **2009**, 166, 1302-1306;
11. Lefebvre, E., Legube, B.: Coagulation par Fe(III) de substances humiques extraites d'eaux de surface: effet du pH et de la concentration en substances humiques, *Water Research*, **1990**, 24 (5), 591-606;
12. APHA-AWWA-WEF, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 19th ed., American Public Health Association, American Water Works Association, and Water Environment Federation, Washington, DC, USA, **1995**;
13. Duan, J., Gregory, J.: Coagulation by hydrolysing metal salts, *Advances in Colloid and Interface Science*, **2003**, 100, 475-502;
14. Eckenfelder, W. Jr.: *Industrial water pollution control*, 2nd edition, McGraw-Hill, New York, **1989**, 84-94;
15. Aguilar, M.I., Saez, J., Lioréns, M., Soler, A., Ortuno, J.F.: Nutrient removal and sludge production in the coagulation-flocculation process, *Water Research*, **2005**, 36, 2910-2919;

16. Rais, Z., El-Hassani, L., Maghnouje, J., Hadji, M., Iben-lkhavat, R., Nejjar, R., Kherheche, A., Chaqroune, A.: Dyes removal from textile wastewater by phoshogypsum using coagulation precipitation method, *Physical Chemistry News*, **2002**, 7, 100-109;
17. Shyh-Fang, K., Chih-Hsaing, L., Mon-Chun, C.: Pre-oxidation and coagulation of textile wastewater by Fenton process, *Chemosphere*, **2002**, 46, 923-928;
18. Georgiou, D., Aivazidis, A., Hatiras, J., Gimouhopoulos, K.: Treatment of cotton textile wastewater using lime and ferrous sulphate, *Water Research*, **2003**, 37, 2248-2250.