

Élimination de la pollution des eaux usées industrielles locales par procédé d'adsorption sur un mélange de sable-sol agricole et cendres volantes : validation de nouveaux indices de performance

H. Haffad, H. Nasrallah, I. Khaffane, I.T. Lancar, M. Bakasse, Laboratoire de Chimie Organique, Bioorganique et Environnement (LCOBE)
A. Laamyem, M. Monkade, Laboratoire de Physique de la Matière Condensée (LPMC), Faculté des Sciences, Université Chouaib Doukkali, El Jadida, Maroc

Les techniques de traitement des eaux usées sont multiples et coûteuses, d'où la nécessité de trouver d'autres moyens moins chers et plus efficaces que possible. L'objectif de la présente étude est de valoriser certains produits naturels tels que le sable marin sol agricole et cendres volantes, en les utilisant comme supports à faible coût, pour le traitement des eaux usées industrielles de la ville d'El Jadida. Les principaux paramètres physicochimiques analysés dans cette étude ont porté sur la demande chimique en oxygène (DCO), les ions chlorures (Cl⁻), les ions ammonium (NH₄⁺), les ions orthophosphates (PO₄³⁻), le pH, la conductivité électrique (CE), et les matières en suspension (MES). Les résultats obtenus par le système utilisé ont montré son efficacité à réduire la pollution générée par les eaux usées industrielles étudiées, avec un pourcentage d'élimination allant de 74 à 96 %.

ABSTRACT

Elimination of pollution in local industrial waste water through a process of adsorption onto a mix of agricultural soil-sand and fly-ash: a validation of new performances indices.

There are many waste water treatment techniques available, and they are costly – hence the need to seek out means that are cheaper and as efficient as possible. The objective of this study is to highlight certain natural products such as agricultural land marine sand and fly-ash, using them as low-cost mediums to treat

industrial waste water in the city of El Jadida.

The main physicochemical parameters analysed in this study relate to the chemical oxygen demand (COD), chloride ions (Cl⁻), ammonium ions (NH₄⁺), orthophosphate ions (PO₄³⁻), pH levels, electrical conductivity (EC) and the materials in suspension (MIS). The figures taken from the system used demonstrate its effectiveness in reducing the pollution generated by the industrial waste water that was examined, with elimination percentages ranging from 74 to 96%.

Key words: marine sand; agricultural soil; fly-ash; filtration; industrial waste water.

Les rejets liquides industriels, présentent un large spectre de polluants organiques et inorganiques sous forme d'état solide ou dissous, tels que les solvants, les polymères, métaux lourds, hydrocarbures, huiles, graisses, sels, des polluants biologiques, bactéries, virus et champignons... etc. La filtration constitue une technique assez largement répandue pour épurer les effluents liquides en raison de la faible dépense énergétique qu'elle entraîne, du peu de technicité demandée pour son entretien, de sa faci-

Mots-clés: sable marin; sol agricole; cendres volantes; filtration; eaux usées industrielles.

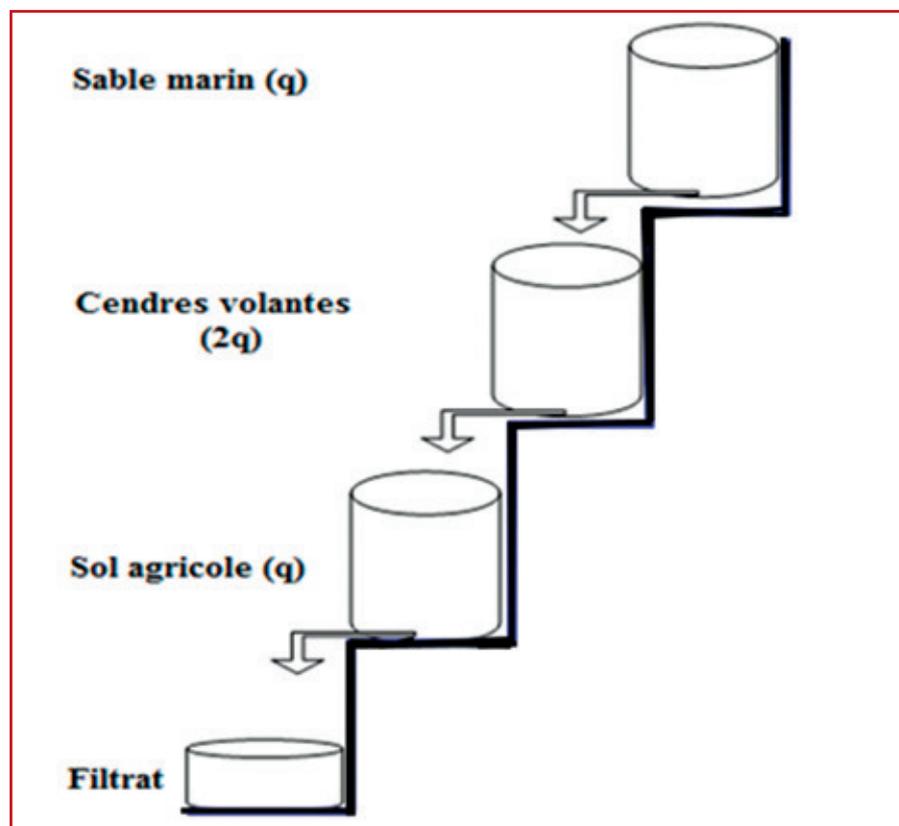


Figure 1: Montage expérimental utilisé pour le traitement des eaux usées industrielles.

lité d'utilisation et de son efficacité comme système de traitement des eaux usées et à moindre coût. Le présent travail vise à valoriser des sous-produits naturels pour le traitement des eaux usées industrielles par filtration percolation.

Le but du présent article est de valoriser certains déchets et sous-produits naturels pour le traitement des eaux usées industrielles de la ville d'El Jadida. Dans cette étude, nous avons utilisé un système de traitement en escalier composé de sable marin, sol agricole et des cendres volantes, déchets de la centrale thermique JLEC (JorfLasfar Energy Company), située à 16 km au sud-ouest de la ville d'El Jadida (Maroc).

Les cendres volantes sont des particules non combustibles entraînées par les fumées lors de la combustion du charbon pulvérisé, utilisé dans les centrales thermiques. Leur composition minéralogique est variée et dépend des différents types de matières incombustibles présentes dans le charbon. D'une façon générale, elles sont constituées d'aluminosilicates vitrifiés de calcium, fer, magnésium, potassium, et sodium, associées à des phases de quartz, de silicate d'aluminium et magnétite. Des travaux récents ont montré leur efficacité pour la réduction et l'élimination de différents polluants organiques et minéraux dans l'air (NOx, SOx) et dans l'eau par phénomène d'adsorption.

Matériels et méthodes

Le dispositif expérimental utilisé pour ce mode de traitement est schématisé sur la figure 1. Le premier et le troisième bassin du système de traitement utilisé sont composés d'une même quantité (q) de sable marin et du sol agricole. Le deuxième bassin séparant les deux autres est composé de cendres volantes avec le double de la quantité utilisée pour les autres bassins (2q).

Le choix de quantités utilisées pour chaque bassin, a été adopté pour une meilleure valorisation des produits naturels et pour un recyclage et une réutilisation des cendres volantes en tant que sous-produit disponible en grande quantité (figure 1).

Tableau 1 : Les paramètres physico-chimiques des eaux usées étudiées avant et après traitement

	Avant	Après
pH	5,69	7,02
Conductivité (mS/cm)	10,71	2,8
MES (mg/l)	354	12
DCO (mg/l)	10176	1267
Chlorures (mg/l)	1900	650
Ammonium (mg/l)	150,36	19,94
Phosphore (mg/l)	42,77	16,99

Résultats et discussions

Les prélèvements des rejets liquides étudiés sont effectués au niveau du collecteur global de la zone industrielle de la ville d'El Jadida, Maroc. Ces eaux usées prélevées sont stockées à l'obscurité et à 5 °C pour éviter toute éventuelle modification physico-chimique.

Le tableau 1, regroupe les résultats obtenus des paramètres physicochimiques avant et après traitement des eaux usées industrielles étudiées en utilisant le nouveau système à trois bassins composé de sable marin, cendres volantes, et du sol agricole.

Étude de pH

Les rejets liquides de la zone industrielle ont un caractère acide avec des valeurs qui varient entre 5 et 6 degrés pH, de tels effluents rejetés dans la nature sans traitement préalable auraient un impact négatif sur l'environnement et peuvent causer des déséquilibres physicochimiques des milieux récepteurs (figure 2). Le passage de ces eaux usées sur les 3 bassins composés de sable, de sol agricole et des cendres volantes a permis leur neutralisation. Cette neutralisation peut être expli-

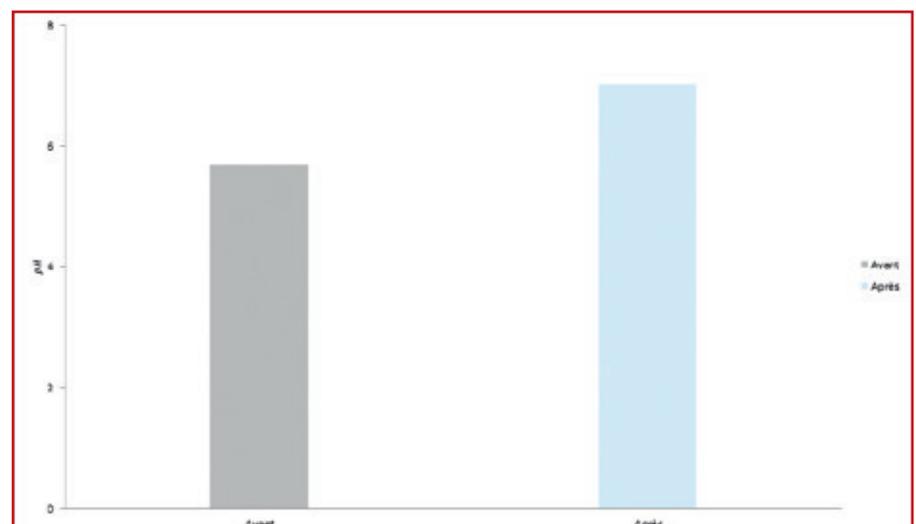


Figure 2: Variation du pH avant et après traitement.

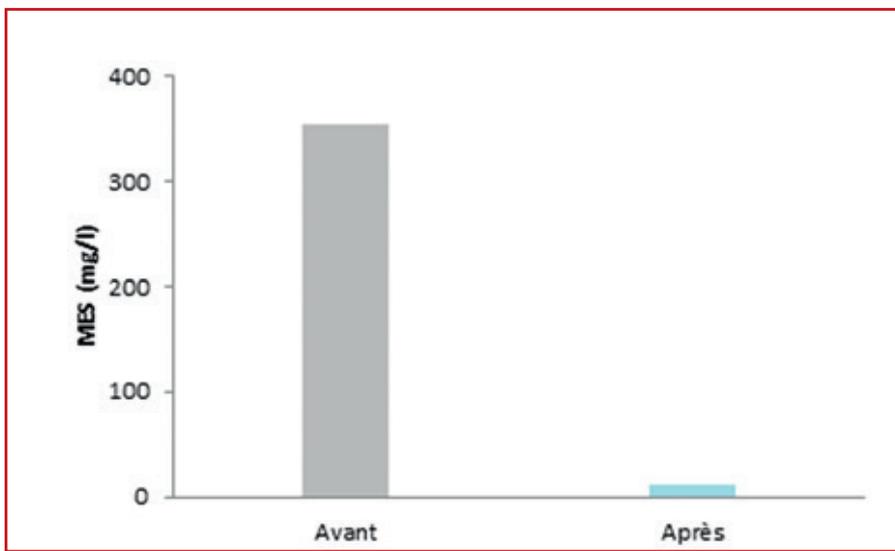


Figure 3: Variation de la concentration en MES avant et après traitement.

quée par le caractère basique des supports filtrants utilisés en impliquant des processus d'échange d'ions et des phénomènes de complexation de surface qui se fait entre les supports et les ions hydrogène, qui tendent ainsi à élever le pH des eaux filtrées [1,2].

Étude des matières en suspension

Les effluents étudiés sont chargés en matières en suspension avec des valeurs dépassant les 350 mg/l (figure 3). Ces particules fines de nature organique ou minérale augmentent la turbidité des eaux et empêchent la pénétration de la lumière réduisant différentes activités biologiques dans le milieu récepteur [3-5]. Le système de traitement utilisé a permis une élimination quasi totale des matières en suspension. Cette élimination peut être expliquée par des phénomènes de fixation et d'adsorption de ces particules à la surface des différents supports composant les trois bassins de filtration [6-9].

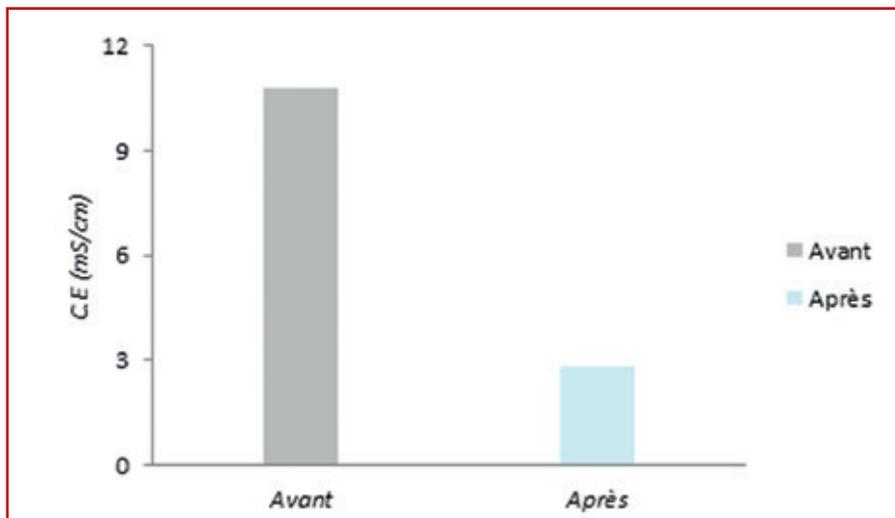


Figure 5: Variation des ions chlorure avant et après traitement.

Le passage de ces rejets liquides à travers les trois bassins de filtration a permis la réduction de la valeur de la conductivité électrique. Cette réduction peut être expliquée par phénomène de diffusion ionique ou par phénomène d'adsorption des différents ions (sels dissous) responsables de cette conductivité, sur les différents supports composant le système de filtration [10-12].

Étude des ions chlorure

Les eaux usées industrielles étudiées repré-

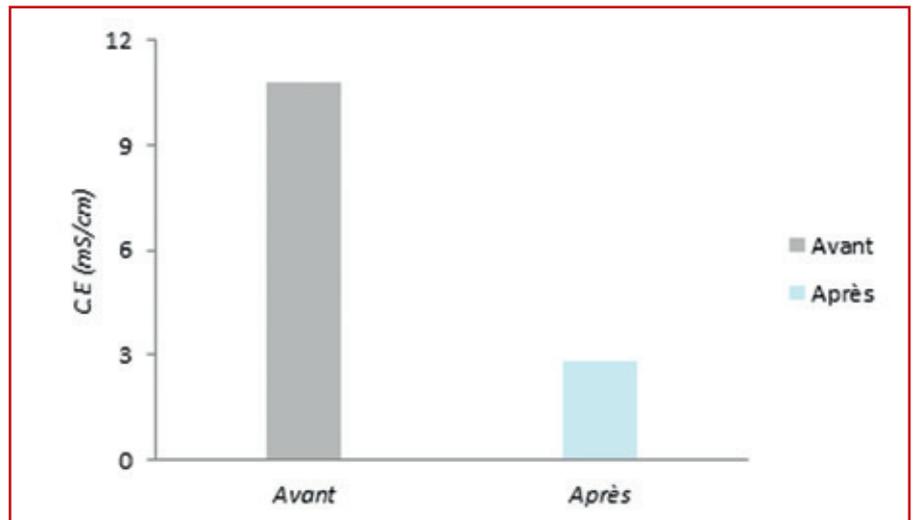


Figure 4: Variation de la conductivité avant et après traitement.

Étude de la conductivité électrique

Les eaux usées étudiées présentent une forte conductivité dépassant les 10 mS. cm^{-1} , cette conductivité traduit souvent le degré de minéralisation globale des eaux usées et qui peut être due à la présence des sels dessous dans ces effluents (figure 4).

sentent une forte charge en ions chlorures avec des concentrations de l'ordre de 1900 mg/l (figure 5). Le traitement de ces rejets liquides par le système utilisé a permis une bonne réduction de ces ions. Cette élimination peut être expliquée par des phénomènes de fixation et par échange d'ions, les différents cations (Na^+ , Ca_2^+ , Fe^+ , Al_3^+ , ...) des supports utilisés piègent ces ions par adsorption au niveau de leur surface [13]. Les cendres volantes et les argiles sont connues comme des matériaux naturels présentant une bonne capacité d'échange d'ions et un pouvoir d'adsorption des ions chlorures ainsi que d'autres polluants [14-16].

Étude des ions ammonium

Les effluents étudiés présentent une forte charge en ions ammonium dépassant les 100 mg/l (figure 6). De telles concentrations auraient un impact négatif sur le milieu récepteur, ainsi ils peuvent provoquer des problèmes de corrosion des conduites et des canalisations qui véhi-

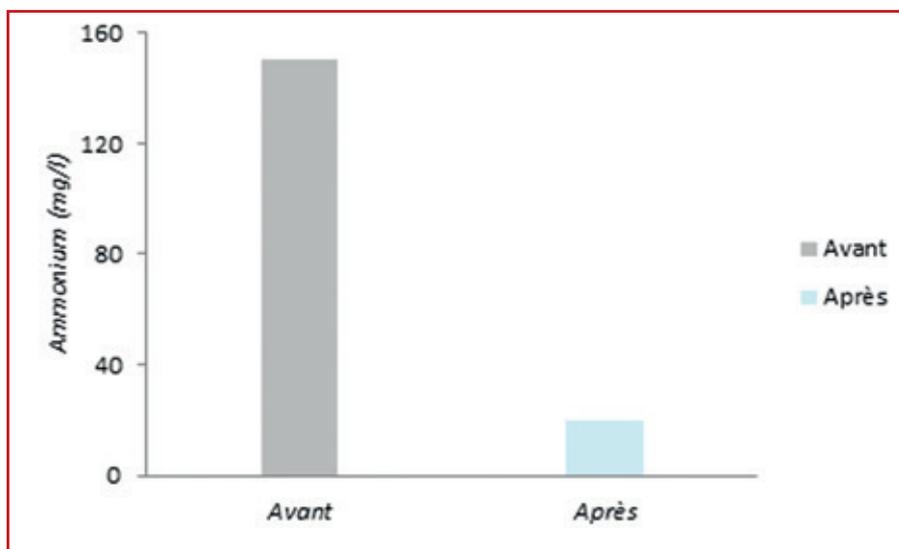


Figure 6: Variation des ions ammonium avant et après traitement.

culent les eaux usées [17-22]. Après passage à travers les filtres composant le nouveau système de traitement, nous avons constaté une réduction de plus de 80 % en concentrations de ces ions. Cette élimination peut se faire soit par phénomène d'adsorption sur les différents supports utilisés pour la filtration, soit par capacité d'échange d'ions. Des travaux récents ont montré l'efficacité et la capacité d'échange et de sorption des ions ammonium par les cendres volantes et par les différentes argiles gonflantes composant le sol agricole et grâce à la présence des bactéries nitrifiantes dans le sol [23-25].

Étude des ions orthophosphates

Les concentrations élevées en ions orthophosphates, rencontrées dans les eaux usées étudiées peuvent provenir de différentes activités industrielles, telles que la production des engrais et des détergents. Les rejets liquides étudiés présentent des concentrations dépassant les 40 mg/l

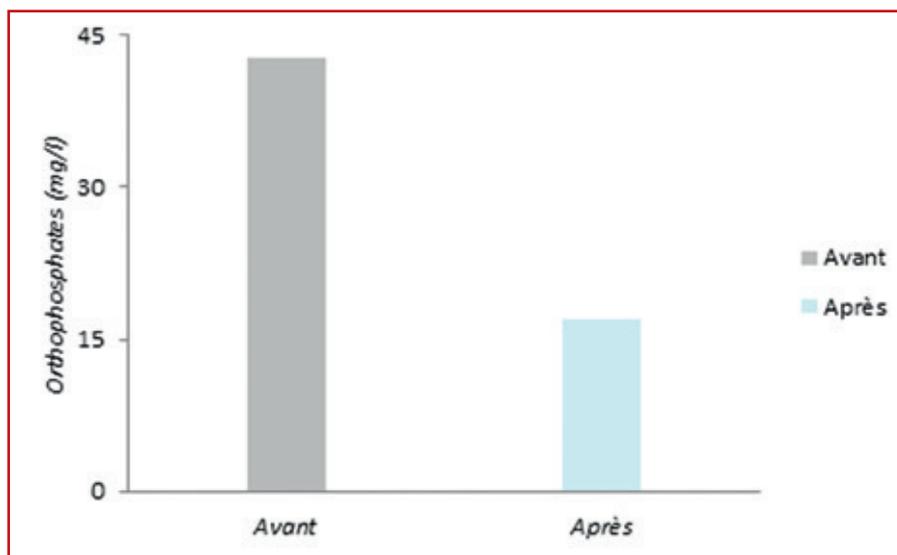


Figure 7: Variation des orthophosphates avant et après traitement.

(figure 7). Ces fortes charges en phosphore peuvent engendrer différents problèmes au niveau des milieux récepteurs tels que le phénomène d'eutrophisation, qui se traduit par une croissance excessive des algues dans les écosystèmes aquatiques [26].

Étude de la demande chimique en oxygène

La pollution organique englobe des matières organiques biodégradables ou non, qui résultent de différentes activités humaines, agricoles et industrielles (figure 8). Cette pollution organique peut générer différents problèmes au niveau du milieu récepteur : mauvaises odeurs, dégradation de la faune et la flore, appauvrissement en oxygène [30]. Les rejets industriels étudiés sont chargés en matières organiques, le passage sur les différents supports composant le système de filtration a permis un abattement de la pollution organique. Le sable marin et le sol agricole utilisés comme supports filtrants ont déjà montré leur efficacité et leur capacité de rétention et d'adsorption de différents polluants organiques et inorganiques. Lors d'une étude de recherche, il a été rapporté que les cendres volantes et d'autres minéraux argileux ont démontré une efficacité à réduire et à enlever des phénols et

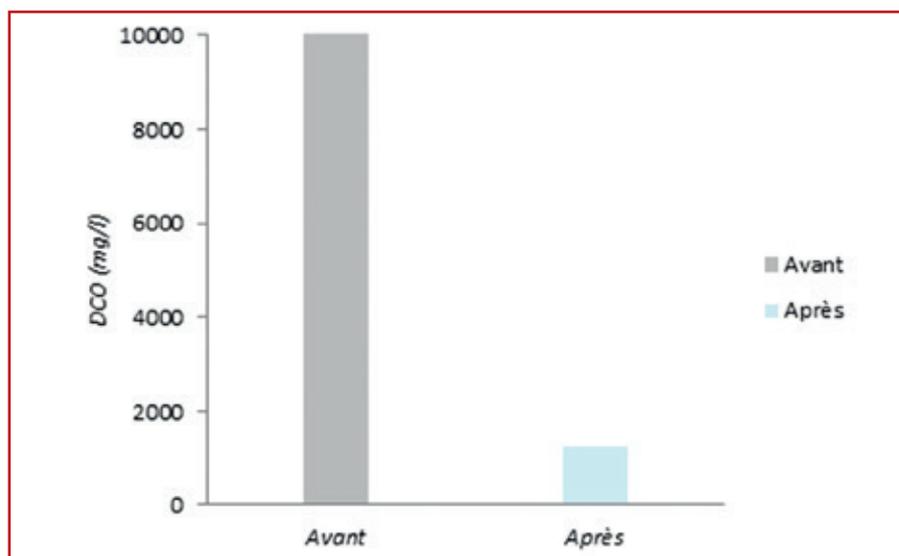


Figure 8: Variation de la DCO avant et après traitement.

des métaux lourds ainsi que d'autres polluants organiques présents dans les eaux usées [31-35].

Le tableau 2 résume les pourcentages d'élimination obtenus pour les paramètres physico-chimiques étudiés, en utilisant le nouveau système de traitement à 3 bassins.

Tableau 2: Le pourcentage d'abattement des paramètres physicochimiques analysés après traitement

Élément	CE	MES	DCO	Cl	NH ₄ ⁺	PO ₄ ³⁻
Rendement %	74,10	96,61	87,55	65,79	86,74	60,28

L'étude des paramètres physicochimiques en utilisant un système à trois bassins composé de sable marin, cendres volantes et du sol agricole, a démontré son efficacité pour la dépollution des eaux usées industrielles étudiées avec un rendement moyen de 80 % pour l'ensemble des paramètres physico-

chimiques analysés.

Conclusion

Les différentes activités humaines, qu'elles soient domestiques, agricoles ou industrielles, sont susceptibles de contaminer, voire même altérer la qualité des différents

écosystèmes environnementaux. La gestion et l'évaluation des risques environnementaux associés aux rejets liquides industriels est une approche qui nécessite l'intégration de nombreuses connaissances dans le domaine de la chimie, la biologie, l'écologie et l'environnement. Les résultats obtenus en utilisant ce système en escalier composé de sable marin sol agricole et

cendres volantes a démontré son efficacité pour le traitement des eaux industrielles de la ville d'El Jadida, avec un rendement d'élimination moyen dépassant les 78 % pour l'ensemble des paramètres physico-chimiques étudiés.

Lors de cette étude, nous avons étudié différents paramètres physicochimiques à savoir le pH, les matières en suspension (MES), la demande chimique en oxygène (DCO), la conductivité électrique (CE), les ions chlorure (Cl) les ions ammonium (NH₄⁺) et les ions orthophosphates (PO₄³⁻). En utilisant ce procédé de traitement, nous avons obtenu des eaux usées filtrées qui répondent aux limites normalisées pour les rejets liquides dans les milieux récepteurs (lacs, rivières, océans... etc.). Ces eaux filtrées peuvent être recyclées et réutilisées en agriculture et pour l'irrigation des espaces verts. ■

Références bibliographiques

- [1] El Gouamri Y. et Belghyti D. Étude de la qualité physicochimique des eaux usées brutes rejetées dans le lac Fouarat, Journal Africain des Sciences de l'environnement. 2006, Vol 1, pp.53-60.
- [2] Deschamps T., Benzaazoua M., Bussièrre B., T Belem. & Mbonimpa M. Mécanismes de rétention des métaux lourds en phase solide. L'Afrique face au développement durable. 2006, Vol 7.
- [3] Comité normes et standards. Ministère de l'environnement du Maroc. 1994.
- [4] Rodier J. L'analyse de l'eau naturelle, eaux résiduaires, eau de mer, 8^{ème} éd. Dunod. 1996, pp.1383.
- [5] Erickson E., K. Affarth, M. Henze, A. Ledin. Characteristics of grey wastewater, Urban Water. 2002, Vol 4, pp.85-104.
- [6] Cobb, D.G., T.D. Galloway & J.F. Flannagan. Effects of discharge and substrate stability on density and species composition of stream insects. J. can. Sci. Halieutiques Aquat. 1996, Vol 49, pp.1788-1795.
- [7] Birgard F, Lefrancois T, Gilliet N. Mesure des flux et échantillonnage des MES sur de petits cours d'eau. Ingénieries - EAT. 2004, pp. 21-35.
- [8] Wang B, H.-Zh. Ma. Multifunctional micro-sized modified kaolin and its application in wastewater treatment. Hazardous Materials.2006, pp. 365-370.
- [9] Essa M. & Farragallah M. « Clay minerals and their interaction with heavy metals and microbes of soils irrigated by various water resources at Assiut, Egypt », Ass. Univ. Bull. Environ. Res. 2006, Vol 9, pp. 73-90.
- [10] Schnitzer M., S.H. KAHN. Humic substances in the environment, Marcel Dekker, New York. 1972, pp. 204.
- [11] Chatzopoulos F, Fugit J.L, Taverdet J.L. Etude en fonction de différents paramètres, de l'absorption et de la désorption d'eau par un copolymère de sodium réticulé. European Polymer Journal. 2000, Vol 36, pp.51-60.
- [12] Chapman, D. Water quality assessment. A guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring. Chapman & Hall, Londres. 1992.
- [13] Bonte S. L., Pons M., et Rocklin P., « Relation between conductivity and ion content in urban wastewater ». Water Science. 2008, Vol 21, pp.429-438.
- [14] Bigorre F, Tessier D, Pedro G. Contribution des argiles et des matières organiques à la rétention de l'eau dans les sols. Signification et rôle fondamental de la capacité d'échange en cations. Earth and Planetary Science. 2000, Vol 330, pp. 245-250.
- [15] Legrouria A, Barroug A, De Roy A., Besse J.P. Removal of the herbicide 2, 4-dichlorophenoxyacetate from water to zinc - aluminium - chloride layered double hydroxides. Water Research. 2005, Vol 39, pp. 3441-3448.
- [16] Aksu, Z. & Isoglu, I. A. Removal of copper (II) ions from aqueous solution by biosorption onto agricultural waste sugar beet pulp. Process biochemistry. 2005, Vol 40, pp. 3031-3044.
- [17] Pivato A, Raga R. « Tests for the evaluation of ammonium attenuation in MSW landfill leachate by adsorption into bentonite in a landfill liner ». Waste Management. 2006, Vol 26, pp. 123-132.
- [18] Weber M.A, Westfall D. G. Ammonium adsorption by a zeolite in a static and a dynamics system. J.Environ. Qual. 1983, Vol 12, pp.549-552.
- [19] Buragohain P, Sredeep S, & Saiyouri N. A study on the Adsorption of ammonium in Bentonite and Kaolinite. International Journal of Chemical, Environmental & Biological Sciences. 2013, Vol 1, pp. 2320-4087.
- [20] Hammer M.J., Hammer, J.R. Water and wastewater technology, 4th Edition. Prentice Hall of India, New Delhi. 2005.
- [21] Emmanuel Joussein, Sabine Petit, Alain Decarreau. A new method to determine the ratio of clay minerals in mixtures by IR spectroscopy. Earth and Planetary Science. 2001, Vol 332, pp. 83-89.
- [22] IkramJarraya, Sophie Fourmentin, Mourad Benzina. Adsorption des COV par un matériau argileux tunisien organo-modifié. Journal de la Société Chimique de Tunisie. 2010, Vol 12, pp.139-149.
- [23] Du Chaufour P. Abrégé de pédologie: sol, végétation et environnement. 5^{ème}. Édition, Masson, 1997.
- [24] Yaakoubi A., Chahlaoui A., Elyachoui M., Chaouch A. Traitement des margines à pH neutre et en conditions d'aérobies par la microflore du sol avant épandage. Bull. Soc. Pharm. Bordeaux.2010, Vol 149, pp.43-56.
- [25] Hamdi M., Garcia J.L., Ellouz R. Integrated biological process for olive mill wastewaters treatment. Bioprocess. Engin.1992, Vol 8, pp.79-84.
- [26] Furumal, H., Ohgaki, S. Adsorption-desorption of phosphate by lake sediment under anaerobic conditions. Wat. Res. 1989, Vol 23, pp.677-683.
- [27] Wieland, E.; Stumm, W. Dissolution kinetics of kaolinite in acidic aqueous solutions at 25 OC. Geo & Cosmochimica Acta.1992, Vol 56, pp.3339-3355.
- [28] Kubicki, J.D., Kwon, K.D., Paul, K.W., Sparks, D.L., 2007. Surface complex structures modeled with quantum chemical calculations: carbonate, phosphate, sulphate, arsenate and arsenite. Journal of soil science 58, pp. 932-944.
- [29] Utracki, L. A. Basic Elements of Polymeric Nanocomposite Technology, In: Clay-Containing Polymeric Nanocomposites, Rapra Technology Limited, England. 2004, pp. 73-96.
- [30] Araújo M D.M., Ruiza.A.C, Melob M.A.F, Sobrinhob E.V, Schmallec M. Preparation and characterization of terbium palygorskite clay as acid catalyst. Microporous and Mesoporous Materials. 2000, Vol 38, pp. 345-349.
- [31] Shen, Y.H. Phenol sorption by organoclays having different charge characteristics. Physicochem. Eng. Aspects 2004, Vol 232, pp. 143-149.
- [32] Gupta, V.K., Sharma, S., Yadav, I.S., Mohan, D. Utilization of bagasse fly ash generated in the sugar industry for the removal and recovery of phenol from wastewater. J. Chem. Technol. Biotechnol. 1998, Vol 71, pp.180-186.
- [33] Hedge R.E.M., & Mclellan M. Archaeometry. 1976, Vol 18, pp.203.
- [34] Chen W-S, Chang F-C, Shen Y-H, Tsai M-S, KO C-H. Removal of chloride from MSWI fly ash. Journal of Hazardous Materials, 2012, pp.116-120.
- [35] Kamel M, M. & Ismael A, M. Abatement of free chlorine from water using kaolinite clay. Ass. Univ. Bull. Environ. Res. 2004, Vol 7, pp. 237-238.