

L'utilisation des déchets solides avec du sable pour le traitement des eaux usées de la zone industrielle de la ville de Tanger

L. Taoufiq, A. Laamyem, M. Monkade, A. Zradba,
Laboratoire de physique de la matière condensée, Faculté des Sciences d'El Jadida,
Université Chouaib Doukkali, Maroc
E. Elhachmi, Laboratoire Energie Renouvelable et matériaux avancés, Université Internationale de Rabat, Maroc

ABSTRACT

The use of industrial solid waste with the sand for the treatment of wastewater from the industrial area of the city of Tanger.

Currently, adsorption-based separation represents one of the most important separation technologies. Over the past years, several studies have focused on the search for new, less expensive materials possessing high adsorption potential. This technique has proved to be very promising for waste water remediation, with particular emphasis on industrial effluents. Our work falls into this context. We have adopted adsorption-based separation via a filtration-percolation system using a series of filter matrices comprised of natural porous materials such as sand, combined with solid waste such as fly ash and clinker. The aim was to study this system's ability to purify waste water generated by the Tangiers Mghoga industrial estate. The main parameters analysed during this study were organic matter such as COD, BOD_5 , pH, electrical conductivity, orthophosphates (PO_4^{3-}) and chlorides (Cl). The results obtained using this treatment solution were as follows: 95.21% reduction for COD, 96.69% for BOD_5 , 79.26% for PO_4^{3-} , 40.92% for conductivity and 70.70% for chlorides (Cl).

Aujourd'hui, la technologie de séparation par adsorption constitue l'une des technologies de séparation la plus importante. Ces dernières années, plusieurs travaux se sont orientés vers la recherche de nouveaux matériaux, moins chers et possédant un bon potentiel adsorbant. Cette technique a montré de forts potentiels en dépollution des eaux usées, surtout en matière d'effluents industriels. C'est dans ce contexte que s'inscrit notre travail. Nous avons adopté la technique de séparation par adsorption via un système de filtration percolation sur une série de matrices filtrantes composées par des matériaux poreux naturels comme le sable, combinés avec des déchets solides à savoir les cendres volantes et les mâchefers, et ce dans le but d'étudier l'efficacité de purification par ce système de filtration des eaux usées de la zone industrielle Mghoga de Tanger. Les principaux paramètres analysés dans cette étude sont la matière organique comme la DCO, la DBO_5 , le pH, la conductivité électrique, les ortho phosphates (PO_4^{3-}) et les chlorures (Cl). Les résultats obtenus par ce système de traitement sont évalués à une réduction de 95,21 % pour la DCO, 96,69 % pour la DBO_5 , 79,26 % pour PO_4^{3-} , 40,92 % pour la conductivité et 70,70 % pour les chlorures Cl.

La majeure partie du territoire dans notre pays, le Maroc, est caractérisée par un climat semi-aride. Ce qui rend les ressources en eau trop limitées. La consommation d'eau a atteint le niveau à partir duquel on parle générale-

ment de stress hydrique (1000 m³/pers/an). En 2020, il est estimé que 35 % de la population sera en dessous du niveau des conditions de stress sévère fixé à 500 m³/pers/an; s'ajoute à cela, la consommation d'eau qui augmente au fur et à mesure du développe-

ment industriel. En effet, le Maroc a entrepris récemment de mener une politique de gestion active en matière de développement durable et de protection de l'environnement. Par conséquent, la réutilisation industrielle des eaux usées et le recyclage doivent désormais devenir une réalité technique et économique. L'une des problématiques générées par les activités industrielles sont les déchets solides qui constituent une menace sérieuse sur l'environnement. Dans ce cadre, notre étude porte sur le traitement des effluents de la zone industrielle Mghogha de la ville de Tanger, par le procédé de filtration percolation à travers une série de matrices filtrantes formées par la combinaison des déchets solides comme les cendres volantes, les mâchefers et du sable. Ce dernier a fait ses preuves en tant que matériau adsorbant dans le traitement des eaux usées par le procédé de filtration percolation dans le cadre de plusieurs études faites auparavant [1,2,3]. L'infiltration percolation est une technique capable d'oxyder complètement les eaux usées. C'est un procédé de traitement qui permet d'éliminer la pollution organique et des ions majeurs [4]. Il a été de plus en plus utilisé pour le traitement des effluents primaires ou secondaires en raison de sa faible consommation d'énergie et de ses exigences en termes d'entretien [5]. Il consiste en l'application séquentielle des eaux usées sur les filtres à sable.

Matériels et méthodes

Le système de traitement adopté est l'infiltration percolation à travers les matrices filtrantes suivantes: le sable, les mâchefers et les cendres volantes. L'alimentation du système se fait exclusivement par des eaux

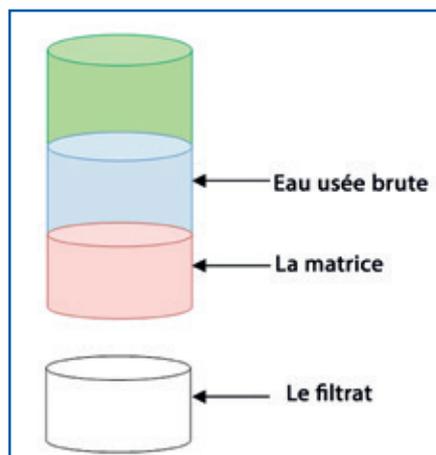


Figure 1: Système de filtration utilisé.



Figure 2: Carte géographique du site étudié.

usées industrielles, l'écoulement se fait en percolation à travers la matrice filtrante. Le principe du système utilisé est schématisé sur la figure 1.

Zone industrielle en étude

Nos échantillons d'eaux usées ont été prélevés de la zone Industrielle Mghogha qui se situe à environ 8 km de la ville de Tanger sur la route de Tétouan comme indiqué sur la figure 2. Sa superficie totale est de 138 ha. L'ensemble des sociétés en activité consomme en eau potable environ 4 000 m³/Jour. La répartition par secteur d'activités des sociétés dans ce site est la suivante:

- Industrie de textile 45 %;
- Industrie chimique 14 %;
- Industrie agroalimentaire 10 %.

Échantillonnage des matériaux filtrants

Les cendres volantes

Les cendres volantes sont des fines particules recueillies lors du dépoussiérage des gaz résultant de la combustion du charbon pulvérisé de la centrale thermique Jorf Lasfer « JLEC » située à 17 km au sud de la ville d'El Jadida sur la route qui mène à



Figure 3: Aspect visuel des cendres volantes.

El Oualidia. Leur composition est en relation avec les différents types de matières incombustibles présentes dans le charbon. D'une manière générale, les éléments présents sont: le silicium, l'aluminium, le fer, le calcium et le magnésium [6].

Les mâchefers à charbon

Les mâchefers utilisés dans nos expériences comme adsorbant sont issus de la centrale thermique de Jorf Lasfar « JLEC ». Ils se présentent sous forme de grains sombres poreux de couleur grise. Leur couleur et leur forme dépendent de l'origine du charbon et des conditions de combustion.

Les sables



Figure 4: Aspect visuel du mâchefer.

Les échantillons des sables que nous avons utilisés dans nos expériences ont été prélevés le long du littoral de la ville d'El Jadida comme le montre la carte satellite ci-dessus. Ces derniers ont été soigneusement lavés et séchés à 40 °C dans une étuve, ensuite tamisés afin de déterminer ses différentes tailles granulométriques.

Le tableau 1 résume les noms des sites des prélèvements de nos échantillons de sables.



Figure 5: Zones des prélèvements des sables.

Échantillonnage des eaux usées industrielles

Les échantillons des eaux usées industrielles ont été prélevés d'un collecteur qui draine ces eaux vers la mer sans traitement préalable.

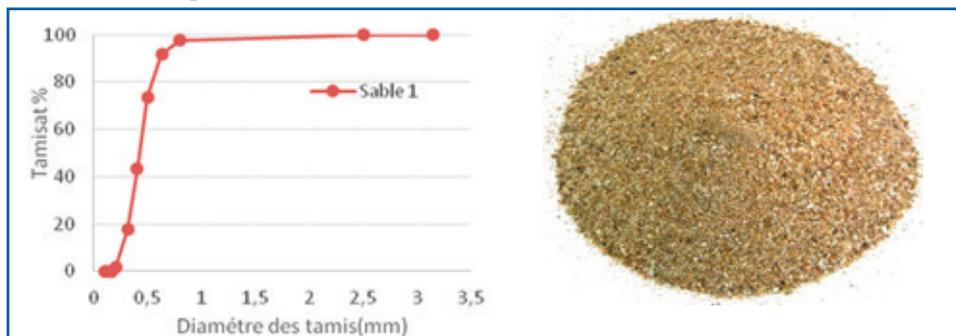


Figure 6: courbe granulométrique aspect visuel du sable 1.

Les échantillons sont recueillis dans des bouteilles en verre, sous les conditions de conservation.

Analyse physico-chimique

Les paramètres caractéristiques indica-

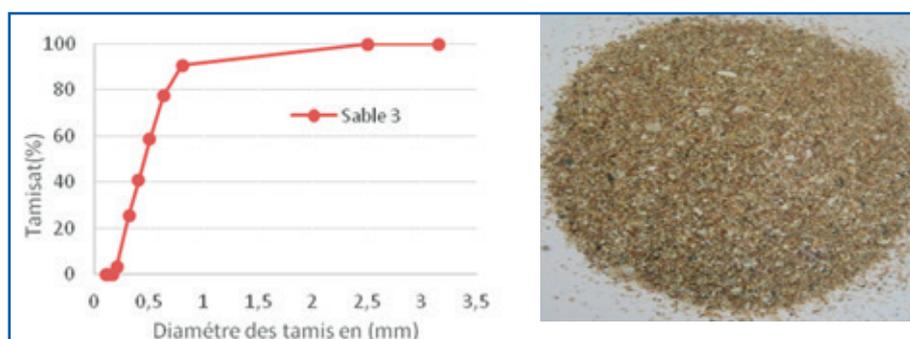


Figure 8: courbe granulométrique et aspect visuel du sable 3.

Tableau 1: Sites des prélèvements des sables marins

| Sables | Sites des prélèvements | Coordonnés (X, Y) |
|---------|--|--------------------------|
| Sable 1 | Plage de Sidi bouzid à proximité du complexe ONE | 33°13'13.2»N 8°33'36.8»W |
| Sable 2 | Plage de Sidi Bouzid (8 km d'El Jadida sur la route côtière vers Safi) | 33°13'42.0»N 8°33'16.1»W |
| Sable 3 | Plage Oualidia à 80 km d'El Jadida | 32°44'14.9»N 9°02'34.3»W |
| Sable 4 | Plage d'el Jadida à côté de l'hôtel Ibis | 33°14'47.8»N 8°29'42.7»W |
| Sable 5 | Plage d'El Jadida | 33°14'40.1»N 8°28'59.5»W |

teurs de pollutions qui font objet de la présente étude sont:

- pH;
- La conductivité;
- DCO;
- DBO₅;
- Les chlorures;
- Les ions orthophosphates.

Tous les paramètres ont été déterminés selon les méthodes standards d'analyse des eaux usées selon la norme AFNOR [7].

Résultats et discussions

Analyse granulométrique des sables

Afin d'établir les tailles granulométriques de nos échantillons de sables, nous avons effectué le tamisage sur une colonne de 13 tamis (Norme AFNOR), les

courbes granulométriques obtenues sont illustrées dans les figures 6, 7, 8, 9 et 10.

À partir du tableau 2 granulométrique ci-dessus, nous constatons que la taille prépondérante dans les cinq sables est inférieure à 500 µm ce qui leur attribue la classe des sables fins. La faible granulométrie des sables, facilitera la fixation de la matière organique à

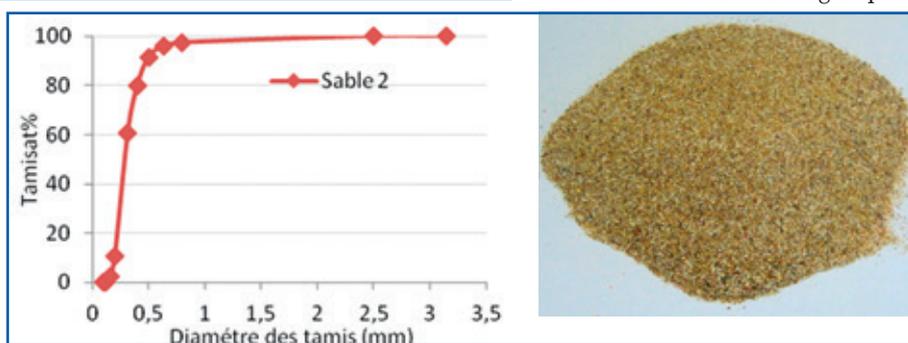


Figure 7: courbe granulométrique aspect visuel du sable 2.

Tableau 2: La taille prépondérante des cinq sables

| Type de sable | La taille prépondérante (mm) |
|---------------|------------------------------|
| Sable 1 | 0,4 |
| Sable 2 | 0,4 |
| Sable 3 | 0,2 |
| Sable 4 | 0,315 |
| Sable 5 | 0,2 |

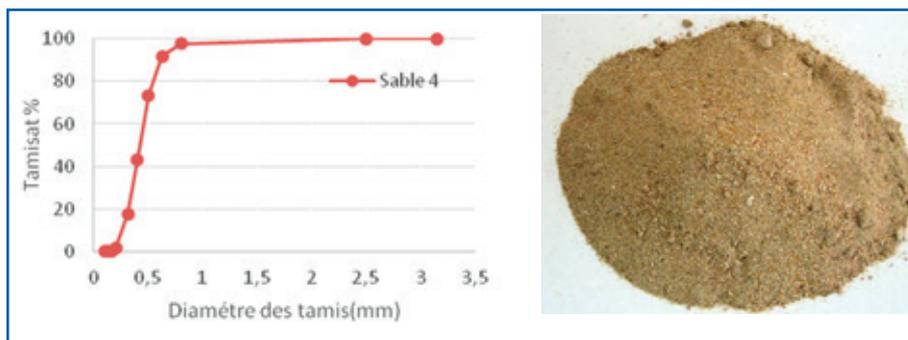


Figure 9: Courbe granulométrique aspect visuel du sable 4.

la surface du matériau adsorbant qui est généralement plus importante lorsque la granulométrie du matériau est faible [8]. Afin d'avoir plus de précision sur la matrice à base de sables que nous allons utiliser, une étude de la vitesse d'écoulement a été réalisée, et la figure 11 montre la variation de cette dernière qui dépend principale-

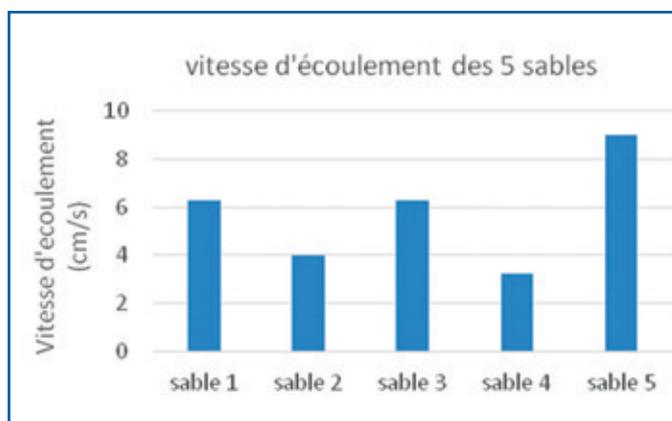


Figure 11: Vitesse d'écoulement des 5 sables.

ment de la taille granulométrique donc de la porosité. Le sable 5 présente une grande vitesse d'écoulement qui est de l'ordre de 9 cm/s.

Structure des cendres volantes

Les résultats des analyses par la technique de la spectroscopie d'absorption atomique

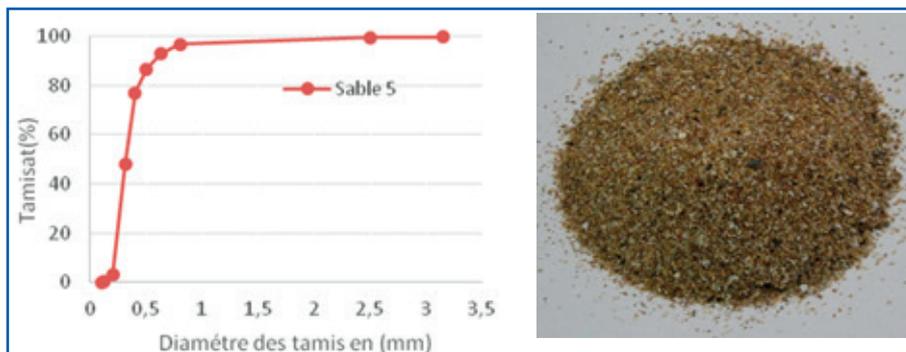


Figure 10: Courbe granulométrique aspect visuel du sable 5.

à flamme ICP, reportés dans le tableau 3, montrent que les cendres volantes sont constituées principalement du SiO_2 et Al_2O_3 , ce qui leur attribue la classe des cendres silicoalumineuses

Structure des mâchefers

La technique de la fluorescence X nous a permis d'avoir la composition chimique des mâchefers. On remarque d'après le tableau 4, que les constituants majeurs de notre adsorbant sont SiO_2 , Al_2O_3 et Fe_2O_3 .

Composition des eaux usées brutes

L'étude de la caractérisation physico-chimique des rejets liquides nous a donné

provient de l'activité agroalimentaire. La conductivité électrique est liée aux concentrations des substances dissoutes et à leur nature. Les effluents étudiés ont une conductivité électrique élevée de l'ordre de 19,92 mS/cm en raison des sels rejetés (Cl) par l'industrie de textile. Ces concentrations élevées des sels minéraux sont dues aux différents traitements réalisés lors du procédé de production (utilisation de l'eau de javel, bisulfite de sodium, enzymes, les colles...) [9]. Le pH est un élément important pour définir le caractère agressif ou incrustant d'une eau. Nos échantillons ont un pH de 6,48, valeur proche de la neutralité. Cela peut s'expliquer par la diversité des activités industrielles qui sont principalement l'industrie de textile, l'agroalimentaire et l'industrie chimique. La concentration des orthophosphates dans les effluents étudiés est très élevée, de l'ordre de 95,24 mg/l. Cette valeur élevée provient des produits de lavage industriels.

Résultats après filtration

percolation

Après plusieurs expériences de filtrations percolations dans notre laboratoire, nous avons constaté que la décoloration des eaux épurées diminue progressivement vers le transparent comme le montre

Tableau 3: Composition chimique des cendres volantes

| Élément chimique | SiO_2 | Al_2O_3 | Fe_2O_3 | CaO | MgO | SO_3 | K_2O | $\Sigma \text{SiO}_2, \text{Al}_2\text{O}_3, \text{Fe}_2\text{O}_3$ |
|------------------|----------------|-------------------------|-------------------------|-----|------|---------------|----------------------|---|
| (%) | 57 | 34 | 3,4 | 10 | 0,02 | 0,5 | 1,2 | 94,4 |

Tableau 4: Composition chimique des mâchefers

| Élément chimique | CaO | SiO_2 | Fe_2O_3 | Al_2O_3 | K_2O | Na_2O | ZnO | PbO | SO_3 | MgO | PAF | CaO libre |
|------------------|------|----------------|-------------------------|-------------------------|----------------------|-----------------------|------|------|---------------|------|------|-----------|
| (%) | 1,92 | 52,07 | 8,86 | 23,34 | 1,9 | 0,4 | 0,01 | 0,01 | 1,87 | 1,09 | 6,48 | 0,29 |

Tableau 5: Caractérisation physico-chimique des eaux usées industrielles brutes

| Paramètre | pH | Conductivité (ms/cm) | DCO ($\text{mg O}_2/\text{l}$) | DBO_5 ($\text{mg O}_2/\text{l}$) | Chlorures (mg/l) | Orthophosphates (mg/l) |
|------------|------|----------------------|----------------------------------|---|-----------------------------|-----------------------------------|
| Eaux usées | 6,48 | 19,92 | 5202 | 4224 | 1301,586 | 95,24 |

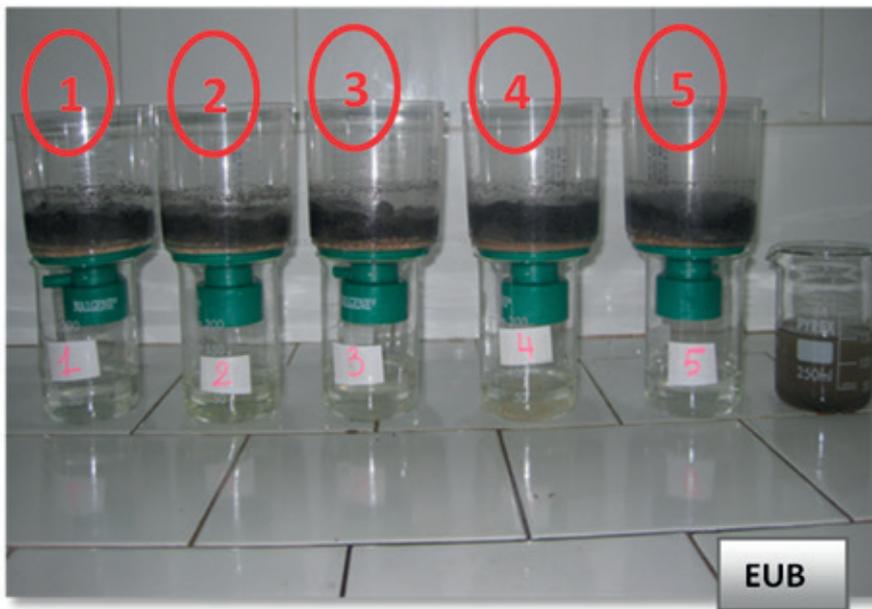


Figure 12: Résultats de filtration. Filtre 1: Sable1 + mâchefer + cendre ; Filtre 2: Sable2 + mâchefer + cendre ; Filtre 3: Sable3 + mâchefer + cendre ; Filtre 4: Sable 4 + mâchefer + cendre ; Filtre 5: Sable5 + mâchefer + cendre ; EUB: eau usée brute.

la figure 12. Le filtre 5 constitué par la matrice sable 5 + mâchefer + cendre donne le meilleur résultat.

En parallèle, on effectue le suivi des paramètres physico-chimiques indicateur de pollution à savoir la DBO₅, DCO, pH, la conductivité, les chlorures et PO₄³⁻ après infiltration sur les colonnes.

L'évolution de la DCO

Selon les résultats illustrés dans la figure 13, nous constatons que les substrats filtrants 1, 2, 3, 4, 5 contribuent à une réduction très satisfaisante qui respecte la norme marocaine (500 mg/l). Les cinq filtres ont donné des abatements respectivement de 95.58 %, 95.39 %, 95.79 %, 93.39 % et 95.94 %. Cette réduction quasi totale est expliquée par les propriétés d'adsorption qui caractérisent les cendres volantes et les mâchefers.

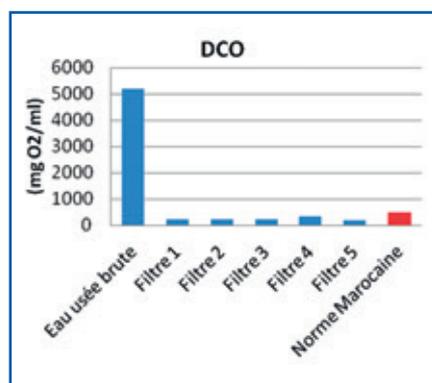


Figure 13: L'abattement de la DCO.

L'évolution de la DBO₅

Concernant la demande biologique en oxygène et d'après la figure 14, on note une

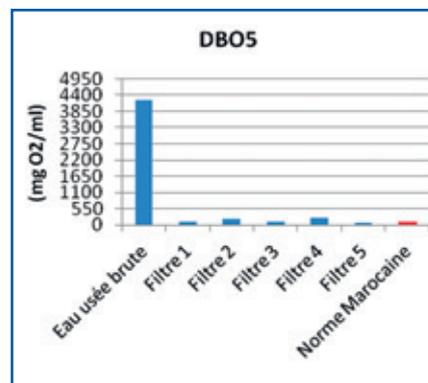


Figure 14. L'abattement de la DBO₅.

diminution des teneurs de la demande biologique en oxygène avec un taux d'abattement respectivement 97.82 %, 95.05 %, 97.89 %, 94.55 % et 98.11 %. Une première constatation montre que le filtre 5 donne une réduction maximale de 77 mg/l, valeur inférieure à 100 mg/l considérée comme valeur limite de rejet. Cette réduction de la charge organique est expliquée par les propriétés d'adsorption qui caractérisent les matériaux filtrants utilisés.

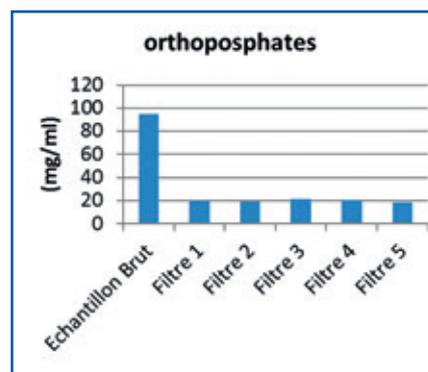


Figure 15: L'abattement des orthophosphates.

L'évolution des ions orthophosphates

Les résultats obtenus (voir figure 15) nous ont permis de conclure que la rétention du paramètre en question au niveau du système est très importante vu l'abattement maximal de 81 % que nous avons obtenu avec le filtre 5. Cette efficacité est due à la richesse en oxydes ferriques, oxydes d'aluminium et de chaux contenues dans les cendres volantes ($\text{CaO} + \sum \% \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 = 47,4 \%$) qui sont responsables de l'adsorption ou de la précipitation des orthophosphates.

L'évolution du pH

D'après la figure 16, nous observons que le pH des cinq filtrats est devenu neutre (pH entre 7,18 et 7,51). Cette augmentation du pH est due aux réactions probables entre les ions H₃O⁺ et les constituants de sable tels que les carbonates [10].

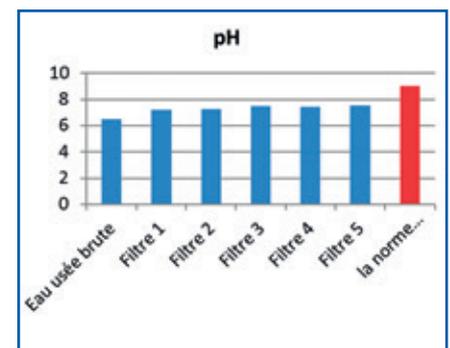


Figure 16: L'évolution du pH.

L'évolution des chlorures

D'après la figure 17, les eaux usées brutes étudiées ont une teneur en chlorures de l'ordre de 1301,586 (mg/l). On constate que l'élimination des chlorures est meilleure après la filtration. Les cinq filtres nous ont permis d'atteindre un abattement respectivement de 73,34 %, 65,49 %, 73,03 %, 68,07 % et 73,57 %. Le filtre 5 présente une réduction

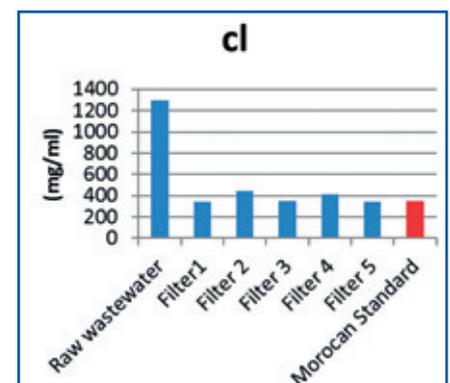


Figure 17: L'abattement des chlorures.

tion maximale de 344 mg/l valeur légèrement inférieure à la norme marocaine (350 mg/l).

L'évolution de la conductivité

La figure 18 nous montre que le rendement du système de filtration utilisé est meilleur. On note une réduction maximale de 11,36 ms/cm, valeur inférieure à la norme de 12 ms/cm.

Cette forte réduction de la conductivité électrique peut également être expliquée par la rétention de sels dissous contenus dans l'eau usée (sulfates, calcium, le sodium, le magnésium, le chlorure, ...) par des matériaux filtrants utilisés.

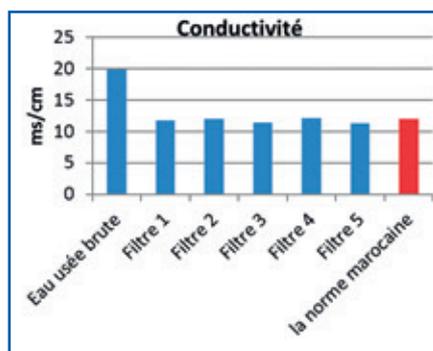


Figure 18: L'abattement de la conductivité.

Comparaison des performances épuratoires des cinq filtres

D'après la figure 19, on note une similarité du rendement épuratoire des cinq filtres. Toutefois, quand on parle de la perfor-

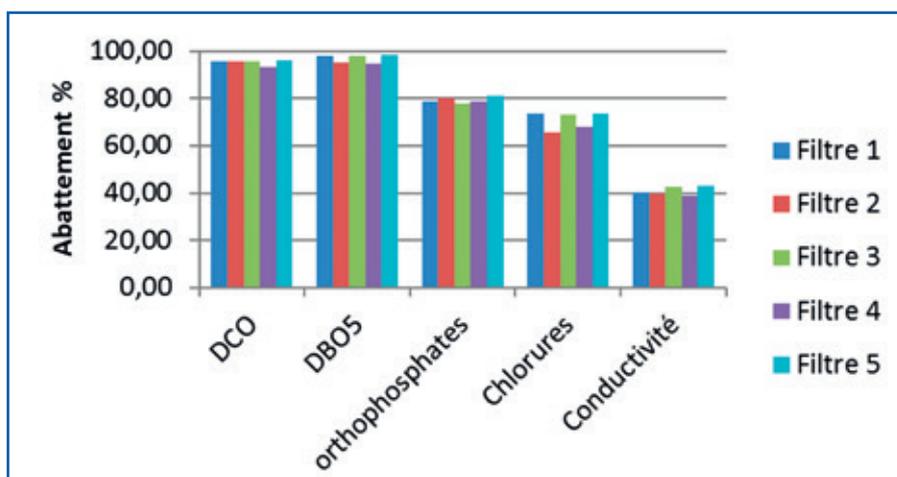


Figure 19: Performances épuratoires des cinq filtres.

mance du système, le temps de séjour s'impose en tant que paramètre essentiel pour juger la performance de ce procédé de filtration percolation. Pour cette raison, on s'est référé à la vitesse de filtration des sables tant la différence entre les cinq filtres repose sur le type de sable et d'après les paramètres déterminés lors de la caractérisation des sables, le sable 5 présente une vitesse de filtration supérieure aux autres. Le filtre 5 formé par le sable 5, mâchefer et les cendres volantes est donc le plus performant, vu le temps de séjour optimal qu'il présente.

Conclusion

Au terme de cette étude, nous avons pu mettre en évidence le fait que les eaux usées de la zone industrielle Mghogha de Tanger sont caractérisées par une pollution organique très élevée. La technique de traitement adoptée nous

a permis de donner une valeur ajoutée aux déchets industriels solides à savoir les cendres volantes et les mâchefers. Les matrices filtrantes que nous avons utilisées nous ont donné une efficacité très importante en termes de dépollution vu les abattements élevés trouvés de la charge polluante physicochimique. Les eaux épurées résultant de ce traitement répondent parfaitement à la norme marocaine ce qui permet de les réutiliser comme une eau de refroidissement en industrie ou dans le secteur agricole comme eau d'irrigation.

Remerciements:

L'équipe de cette étude tient à remercier Dr A. Benabdellah de la faculté des sciences et techniques de Tanger, pour avoir facilité l'acquisition des eaux usées de la zone industrielle Mghogha de Tanger. ■

Références bibliographiques

- [1] S. Et-taleb, M. Ezzahery, R. Aba-aaki, R. Elhaouti, M. Abbaz, S. Lhanafi, N. El alem, Study of the influence of two types of sands of the same origin in the treatment of urban waste water by the process of infiltration percolation (2014)
- [2] Latifa Mouhir, Rédouane Choukrallah, Amal Serghini, Mohammed Fikhaoui, Driss Fadli, Performances épuratoires d'un système de traitement par infiltration percolation et dénitrification en milieu semi-aride au Maroc
- [3] M. Najem, A. laamyem, I.T. Lançar, Rétention des métaux lourds des eaux usées industrielles par filtra-

- tion percolation à travers une couche sol-sable (2009).
- [4] Bancolé A., Brissaud F., Gnagne T., Water Sci. Technol., 48 (11) (2003) 139-146.
- [5] Stevik T.K., Keller A., Ausland G., Hanssen J.K., Water Res., 38 (2004) 1355-1367
- [6] Valuation of Materials in Waste Water Treatment by Percolation Infiltration: on the Sand, Soil, Clay and Ashes. PhD thesis MOUNIR NAJEM University ChouaibDoukkali (2013)
- [7] H. el Fadel, M. Merzouki, M. Faouzi, A. Laamayem, M. Najem and M. Benlemlih, purification performance of filtration process for leachate in morocco by marine

- sands, clays and fly ash (2013).
- [8] A. laamyem, H. Haffad, M. Najem, Caractérisations physiques et chimiques des eaux usées industrielles après filtration à travers la matrice sol-sable en fonction de la taille granulométrique (2011).
- [9] H. Hayzoun, A. Ouammou, O. Saidi, F. Khalil, L. Bouayyadi, Evaluation de la qualité bactériologique et chimique du Sebou, Maroc (2014).
- [10] R. El haouti, R. Aba-aaki, K. Agga, S. Et-taleb, M. Abbaz, M. Ezzahery, S. Lhanafi et N. El alem, Use of black sand as gravel in the process of infiltration percolation forwastewater treatment (2014).



Retrouvez toute l'actualité de l'eau sur le site



www.revue-ein.com