

# Caractérisation physico-chimique des eaux usées industrielles et urbaines avant et après filtration à travers une matrice poreuse en fonction de la taille granulométrique des sables marins utilisés

Par **I. Dachraoui, A. Laamyem, M. Monkade**. Laboratoire de physique de la matière condensée - Equipe de physique de l'environnement, département de physique, Faculté des Sciences, UCD, El Jadida, Maroc



## Abstract

**PHYSICO-CHEMICAL CHARACTERIZATIONS OF INDUSTRIAL AND URBAN WASTEWATER BEFORE AND AFTER FILTRATION THROUGH A POROUS MATRIX IN DEPENDING ON THE GRANULOMETRIC SIZE OF THE SEA SANDS USED**

Natural resources in drinking water are much reduced in arid and semi-arid countries, and water tables get very dried-up as a result of the rare incidences of precipitation. This key issue results in African countries, whose means are excessively reduced, reusing untreated waste water from industrial, urban and even medical processes to irrigate soil and other surfaces, constituting a genuine danger to health. Given the situation, we - like other researchers all over the world - have developed a highly effective straightforward percolation infiltration system at our laboratory, basing our work on natural matrices composed mainly of agricultural soil and marine shore sand from the town of El Jadida, adding in solid waste from the power plant, fly ash, and clinker. Our findings were highly significant, as not only did we purify the industrial and urban waste water, we also enhanced the value of the solid waste. The parameters analysed in this study are: the matter in suspension, the organic matter, the orthophosphates ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) and the ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ). The results of the treatment system were evaluated as showing a reduction of 38.5% for the organic material, 99.8% for the matter in suspension, 25% for the  $\text{PO}_4^{3-}$ , 87.22% pour  $\text{NH}_4^+$  and 68.8% for the chlorides ( $\text{Cl}^-$ ).

Les ressources naturelles en eaux potables sont très réduites dans les pays arides et semi arides, et les nappes phréatiques par rareté des précipitations deviennent très séchées. Ce problème crucial incite les pays africains, dont les moyens sont trop réduits, de réutiliser les eaux usées brutes industrielles et urbaines et même médicales, pour l'irrigation des sols et autres, ce qui constitue un réel danger pour la santé. Devant cette situation et comme d'autres chercheurs de partout dans le monde, nous avons développé dans notre laboratoire un système simple d'infiltration percolation très efficace, en se basant sur des matrices naturelles composées principalement du sol agricole et du sable marin du littoral de la ville d'El Jadida en y ajoutant des déchets solides issus de la centrale thermique comme les cendres volantes et les mâchefers. Les résultats que nous avons obtenus sont très significatifs car d'une part nous avons purifié les eaux usées industrielles et urbaines et d'autre part, valoriser les déchets solides. Les paramètres analysés dans cette étude sont la matière en suspension (MES), la matière organique (DCO) les ortho phosphates ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) et l'ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ). Les résultats obtenus, par ce système de traitement sont évalués à une réduction de 38,5 % pour la DCO, 99,8 % pour la MES, 25 % pour  $\text{PO}_4^{3-}$ , 87,22 % pour  $\text{NH}_4^+$  et 68,8 % pour les chlorures ( $\text{Cl}^-$ ).

Le Maroc, comme d'autres pays du continent africain et le moyen orient, sont des pays où les ressources naturelles en eau sont en général insuffisantes et présentent actuellement un problème crucial dû à l'irrégularité des précipitations et un épuisement des

réserves en eau des nappes phréatiques. Ce problème a obligé les chercheurs à bien réfléchir sur des solutions adéquates, afin d'établir une bonne exploitation de cette ressource vitale, et en particulier à la réutilisation des eaux usées pour la production agricole. Les



# GRASS

GRANULAR ACTIVATED  
SLUDGE SYSTEM

Jusqu'à  
**-30 %**  
d'énergie  
consommée

Un rendement  
de dépollution  
**+ élevé**

# Grass is green!

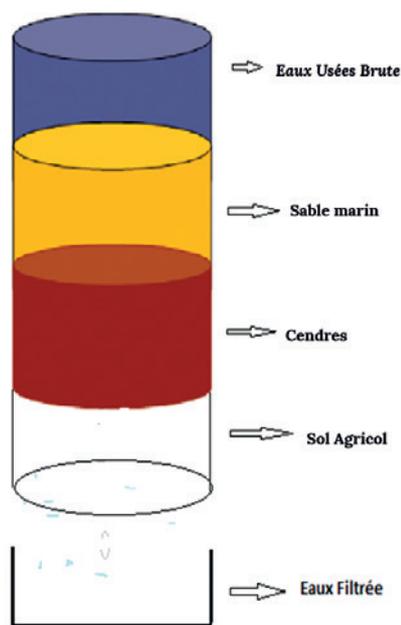
**GRASS®,**  
la nouvelle génération de boues activées  
granulaires pour le traitement des eaux.

À Nogent-sur-Seine, VINCI Construction France teste depuis mai 2021 la technologie GRASS® développée par exelio.

Cette solution simple et rapide à mettre en œuvre permet d'augmenter significativement la capacité de traitement des stations, d'améliorer la qualité des rejets et de diminuer les coûts d'investissement et d'exploitation.

En savoir + [justine.kempgens@exelio.be](mailto:justine.kempgens@exelio.be) | [aline.merck@vinci-construction.fr](mailto:aline.merck@vinci-construction.fr)

© Dimitri Bois / emergence production.



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

méthodes de purification des eaux sont multiples, mais la technique d'infiltration percolation reste la plus utilisée, grâce à sa simplicité, son coût d'exploitation, et particulièrement son rendement très efficace. Dans ce contexte, nous avons utilisé cette méthode d'infiltration en utilisant une colonne formée par quatre étages à savoir le sable marin, le sol agricole, les cendres volantes et les mâchefers; en se basant sur la variation granulométrique des sables. Les principaux paramètres analysés dans notre étude sont les matières en suspension (MES), la matière organique (DCO), les ortho phosphates  $PO_4^{3-}$  et l'ammonium ( $NH_4^+$ ).

**MATÉRIEL ET MÉTHODE**

Le sable que nous avons utilisé, a été

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

Paramètre	Eaux usées étudiées
pH	5,16
Conductivité (mS)	10,8
MES (mg/l)	4531
DCO (mg/l)	45300
Chlorures (mg/l)	5175,12
Ortho phosphates (mg/l)	68,31
Ammonium (mg/l)	500,12

prélevé le long du littoral de la ville d'El Jadida. Ce dernier a été nettoyé, tamisé afin de déterminer ses différentes tailles granulométriques, ensuite, analysé par diffraction X pour avoir une idée très précise sur le taux de présence de la calcite et de la silice et finalement par la spectroscopie ICP (Inductance couplage plasma) pour s'assurer de l'absence de traces des métaux lourds.

Nous avons réalisé dans notre laboratoire le montage expérimental de la figure 1. Il s'agit d'un cylindre de longueur L; et de section S. La matrice filtrante est composée de quatre étages de même hauteur formée par le sol agricole bien tamisé, de sable marin de taille granulométrique adéquate, de cendre volante et mâchefer.

**RÉSULTATS ET DISCUSSION**

Les paramètres physico-chimiques analysés ainsi que les résultats obtenus avant traitement des eaux usées étudiées, sont rassemblés dans le tableau 1. Le tableau 2, résume les valeurs retrouvées pour ces mêmes paramètres physico-chimiques après filtration sur quatre colonnes, de même matrice filtrante mais en faisant varier les tailles granulométriques du sable marin. Cette taille granulométrique allant de 100  $\mu m$  à 200  $\mu m$ .

Les eaux usées étudiées ont un pH acide, comme on peut le constater sur la figure 2. La filtration de ces rejets par nos matrices a conduit à la neutralisation de ces eaux.

La détermination du pH constitue une mesure très importante car la valeur du pH conditionne un grand nombre de réactions biologiques et chimiques dans les eaux naturelles, donc toute modification du pH peut causer des déséquilibres physicochimiques des milieux récepteurs. Les eaux usées étudiées ont un caractère acide avec des valeurs qui varient entre 5,5 et 5,6 degré pH. La filtration de ces rejets liquides à travers les quatre colonnes dont la matrice est formée par du sol, cendres volantes, mâchefers et sable marin de granulométries variant de 100  $\mu m$  à 200  $\mu m$  a permet leur neutralisation. Cette neutralisation peut être expliquée par le caractère basique des supports filtrants Les effluents industriels étudiés présentent une très forte conductivité électrique qui traduit le degré de minéralisation globale, avec une valeur dépassant les 12  $mS.cm^{-1}$  comme indiqué dans la figure 3. Cette conductivité très élevée est due aux sels dissous dans ces rejets. Le passage de ces eaux usées étudiées à travers les différents supports filtrants a permis la rétention des sels

**Tableau 2: Les principaux paramètres physico-chimiques des eaux usées après traitement à travers les quatre matrices**

Colonnes Avec variations des tailles granulométriques du sable marin	Taille 100 $\mu m$	Taille 125 $\mu m$	Taille 160 $\mu m$	Taille 200 $\mu m$
pH	8	7,97	7,67	7,65
Conductivité (mS)	5,2	5,6	6,2	8,9
MES (mg/l)	60	105	170	180
DCO (mg/l)	21000	25 000	28 050	34 055
Chlorures (mg/l)	2095,13	2 204,32	2 302,13	3 003
Orthophosphates (mg/l)	54	54,14	56,22	60
Ammonium (mg/l)	92,16	92	100	101,3



## EAUX URBAINES

- Traitement des eaux usées pour villes, hôtels, hôpitaux et bases de vies.
- Technologie utilisée: MBBR (lits fixés fluidisés), boues activées.
- Systèmes de réutilisation et recyclage des eaux grises.
- Stations d'épuration portables et conteneurisées.



## EAUX INDUSTRIELLES

- Stations d'épuration sur mesure pour l'industrie énergétique, chimique et alimentaire.
- Flottateur à Air Dissous (DAF).
- Séparation d'hydrocarbures.
- Ingénierie et cabinet-conseil dans projets EPC et PPP.



## POTABILISATION

- Lignes de traitement compactes et sur mesure.
- Membranes d'osmose inverse, filtre à anneaux, filtre multimédia, microfiltration, ultrafiltration et nanofiltration.



[france@salher.com](mailto:france@salher.com)  
+33 1 84 16 47 84  
+33 6 62 57 16 49  
[www.salher.com/fr/](http://www.salher.com/fr/)

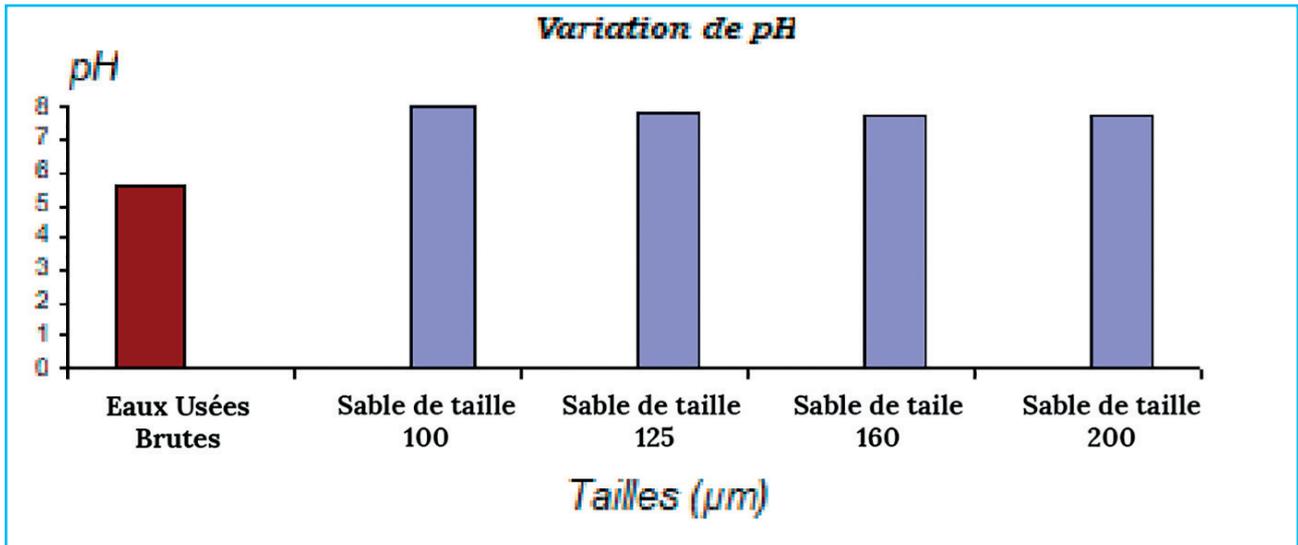


Figure 2: Évolution de pH des eaux usées avant et après traitement par les quatre colonnes.

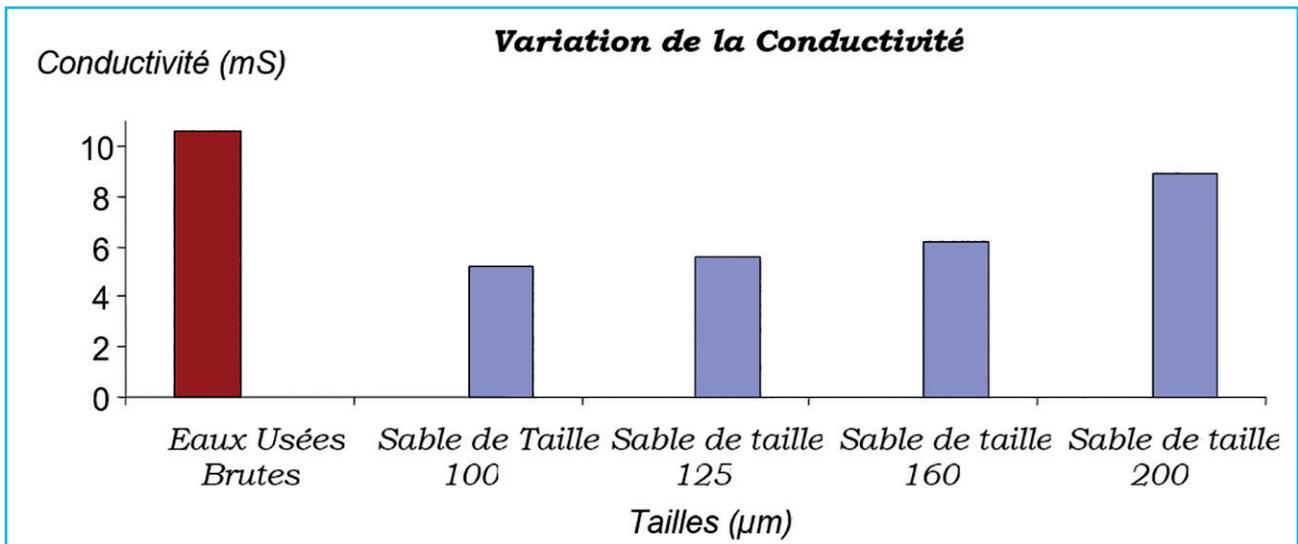


Figure 3: Évolution de la conductivité des eaux usées avant et après traitement par les quatre colonnes.

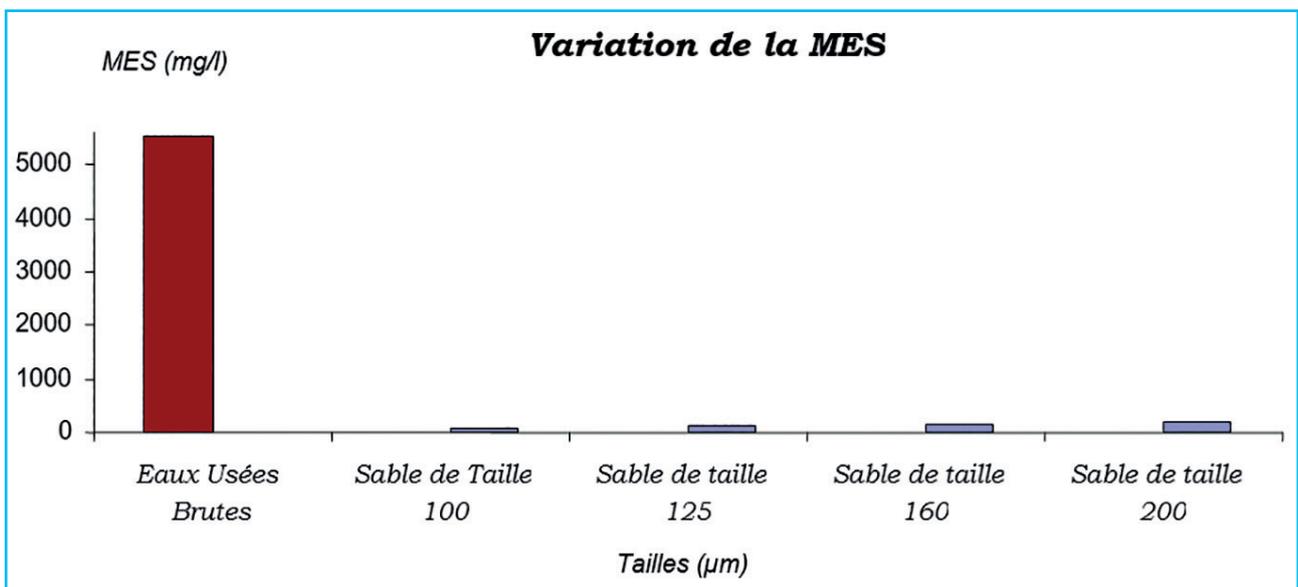


Figure 4: Évolution des MES des eaux usées avant et après traitement par les quatre colonnes.

Informations qualifiées  
pour techniciens et professionnels  
de l'environnement



## FICHES PRODUITS



## RÉALISATIONS



## QUESTIONS / RÉPONSES



## ACTUALITES



Installation d'une Wilo-Actun ZETOS-K8/K10 avec notre partenaire RESE (17)



Cycle de d'eau

## En recherche de durabilité et d'efficience énergétique ?

### Wilo-Actun ZETOS

**-K8/K10** est un système de transfert des fluides pour captage d'eau brute et de transfert d'eau potable. Idéale et adaptée à diverses applications, cette pompe submersible multicellulaire haut rendement peut être équipée d'un moteur synchrone **IE5** avec un rendement global inégalé pouvant atteindre 80%.

Sa construction en Inox 316 à cire perdue lui permet de fonctionner jusqu'à des teneurs en sable de 150 g/m<sup>3</sup> assurant une longévité optimale et des économies d'énergie considérables.



IE5



Certifié  
**ACS**

0 801 802 802 (N°vert)  
[info.fr@wilo.com](mailto:info.fr@wilo.com)

[www.wilo.com/fr/fr](http://www.wilo.com/fr/fr)

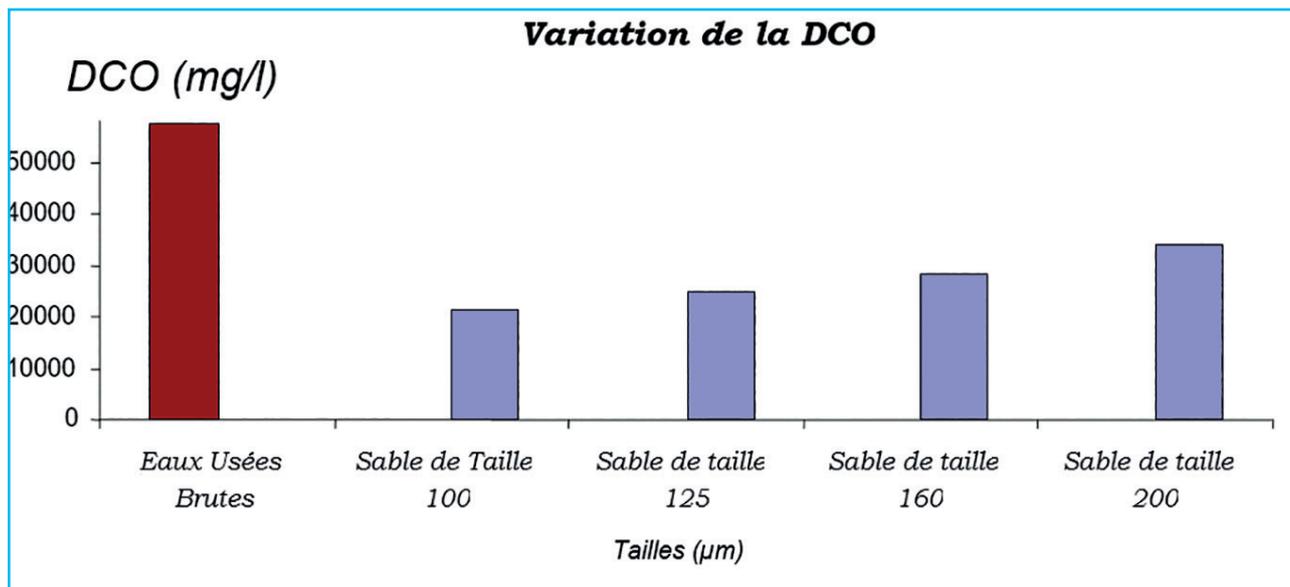


Figure 5: Évolution de la DCO des eaux usées avant et après traitement par les quatre colonnes.

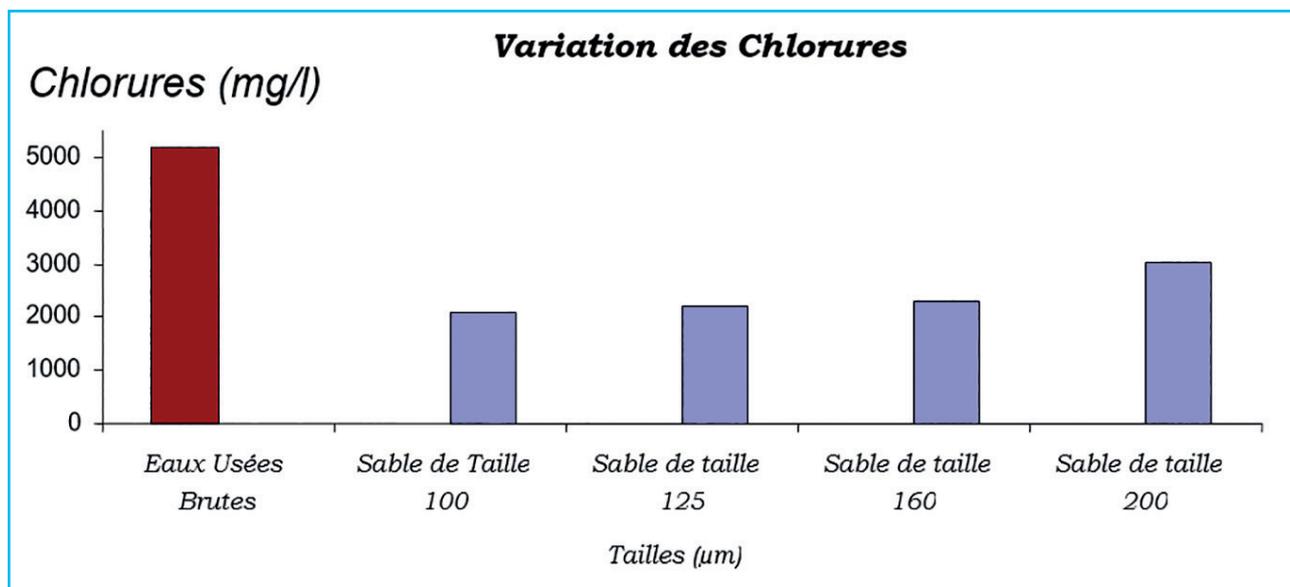


Figure 6: Évolution des Chlorures eaux usées avant et après traitement par les quatre colonnes.

dissous dans l'eau par adsorption et/ou par phénomène de diffusion ionique dans les feuillets argileux constituant la colonne de filtration ce qui traduit la réduction de la conductivité. On note un meilleur résultat pour les colonnes dont le sable est respectivement de 100 µm, 125 µm et 160 µm.

Les matières en suspension regroupent l'ensemble des articles fines, insolubles, colloïdales, de nature organique ou minérale, biodégradables ou non. Ces particules augmentent la turbidité des eaux, empêchent la pénétration de la lumière et réduisent le phénomène de la photosynthèse causant ainsi un appauvrissement en oxygène dissous au niveau des milieux récepteurs. Les eaux

usées étudiées sont chargées en matière en suspension, avec des valeurs dépassant les 5000 mg par litre. Le passage de ces eaux usées à travers les différents filtres étudiés a permis une élimination quasi totale de ces matières en suspension (figure 4).

La pollution organique représente l'ensemble des matières organiques biodégradables et non biodégradables, qui peuvent générer différents problèmes au niveau des milieux récepteurs, mauvaises odeurs, consommation d'oxygène, dégradation de la faune et la flore et perturbation des écosystèmes. Il a été rapporté que différentes matrices argileuses telles que les cendres volantes et les mâchefers, possèdent des propriétés

multifonctionnelles telles que la capacité de rétention et d'adsorption de différents polluants organiques, inorganiques et des métaux lourds (figure 5). La majeure partie de la matière organique soluble et particulaire contenue dans les eaux usées étudiées a été retenue par les différents supports utilisés, avec un taux d'abattement dépassant les 75 %. Cette réduction de la charge organique dissoute indique qu'une bonne assimilation bactérienne prend place dans le lit filtrant. Ceci est lié probablement à une meilleure oxygénation de ce dernier permettant aux bactéries aérobies de proliférer et d'assurer en conséquence une meilleure minéralisation ou oxydation de la matière

# BAC A GRAISSE sous plonge

## Métiers de la restauration

Les bacs à graisses BAGT permettent non seulement une récupération efficace des graisses rejetées à l'égout mais aussi vous offre l'opportunité de produire un déchet de qualité valorisable dans la filière des huiles de friture usées, en France et en Europe, sous forme de biodiesel.

### ROBUSTE ET DURABLE

Grâce à une conception astucieuse issue de l'industrie, nos bacs sont des produits durables et économiques.



### BAGT COMPACT



FOURS, PLONGES, .. H:33, L:35, L:35CM

### FACILE A ENTREtenir

Rituel quotidien propre et simple pour garantir un fonctionnement idéal du bac à graisse.



### ILS NOUS FONT CONFIANCE

Depuis 2004, les plombiers, les restaurateurs et les industriels nous font confiance pour la gestion de leurs effluents gras.



- Conception France
- Procédé VEGX200
- Démarche longlife

### MEILLEUR QUALITÉ PRIX



Avec une longue durée de vie et un fonctionnement éco-énergique, nos offres sont abordables sans compromis sur la qualité et avec une action positive sur l'environnement.



Vous pouvez l'installer vous-même. Nous vous guidons.



DEVELOPPEMENT  
**DURABLE** SARL

[www.bacgraisserestaurant.eu](http://www.bacgraisserestaurant.eu)

+33 (0) 5 61 32 15 12



Une équipe à votre service

organique. L'abattement et l'élimination de la DCO fait intervenir des phénomènes physiques de sédimentation et de filtration ainsi que des phénomènes biologiques de dégradation et de décomposition de la matière organique particulaire et dissoute associés à la flore bactérienne du lit filtrant. Nous constatons d'après la figure 5 un meilleur résultat pour la colonne dont le sable est de 100 µm

Les rejets industriels étudiés sont également trop chargés en ions chlorures avec des valeurs dépassant les 5000 mg par litre. L'élimination des anions chlorures (figure 6), peut être expliquée par

la présence des cations contenus dans les différentes matrices filtrantes utilisées et qui piègent ces ions par adsorption ou par échange d'ions. C'est le cas des cendres volantes et des mâchefers qui sont connues comme des matériaux naturels présentant une bonne capacité d'échanges d'ions et un pouvoir d'adsorption et d'élimination de plusieurs polluants de l'eau.

Le phosphore est l'un des principaux éléments nutritifs qui provoquent l'eutrophisation, phénomène qui se traduit par une prolifération excessive des algues et des cyanobactéries toxiques dans les milieux aquatiques.

Plusieurs formes de phosphore sont rencontrées dans les eaux usées, mais les orthophosphates étant les espèces de phosphore les plus abondants. Les eaux usées étudiées présentent de fortes charges en orthophosphates dont les valeurs dépassent la norme marocaine d'un rejet avant déversement dans le milieu récepteur (60 mg/l en orthophosphates). Après filtration sur les différentes matrices argileuses nous avons noté un taux d'élimination significatif ce qui peut être expliqué par l'adsorption du phosphore sur les argiles utilisées ou sa précipitation avec le fer, le calcium ou l'aluminium, éléments constituants

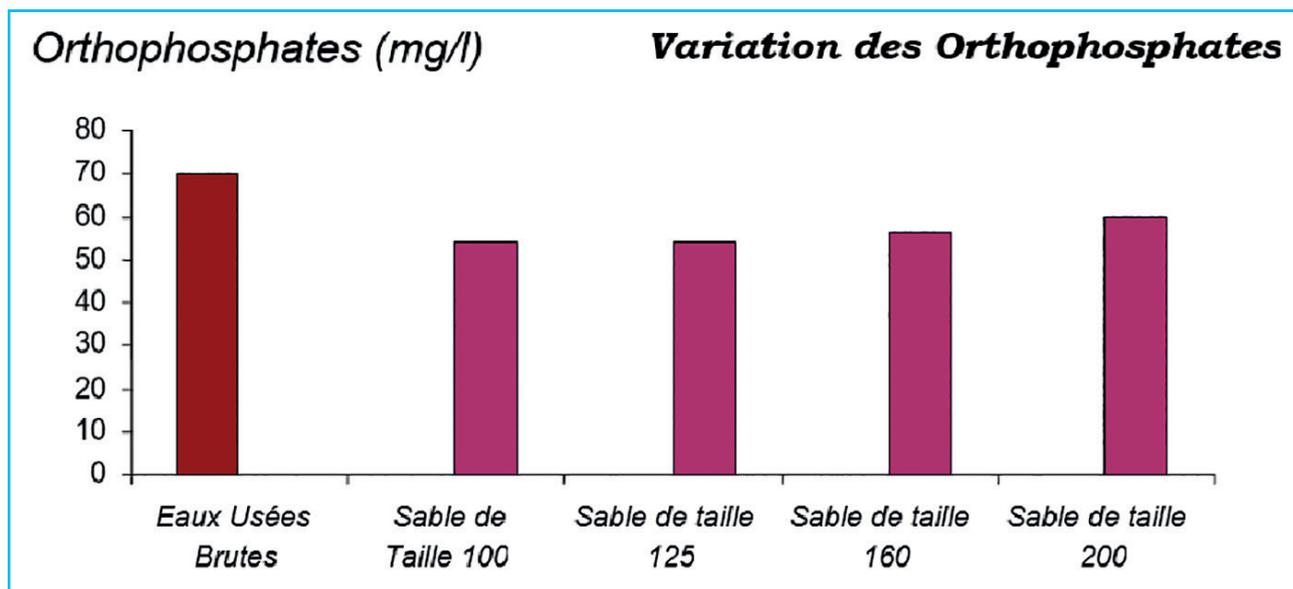


Figure 7: Évolution des Orthophosphates eaux usées avant et après traitement par les quatre colonnes.

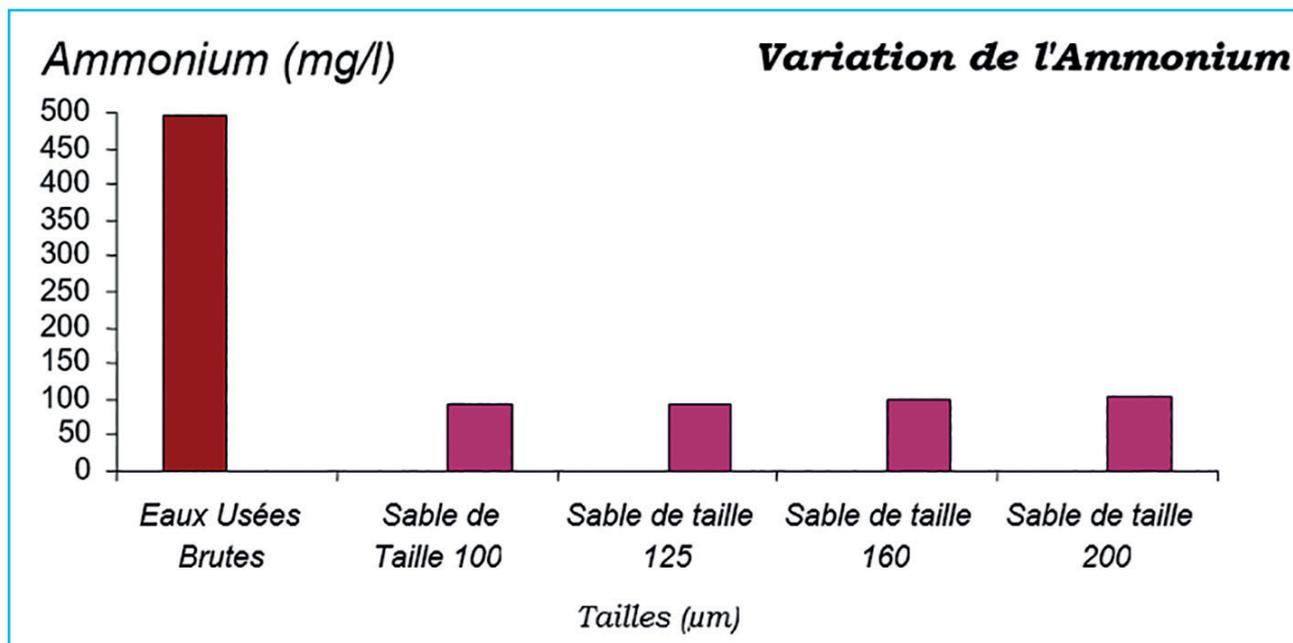


Figure 8: Évolution de l'Ammonium eaux usées avant et après traitement par les quatre colonnes.



# Olientica

O D E U R S & C O V

Olientica est une entreprise spécialisée dans les problématiques de nuisances odorantes et de pollutions chimiques. Ses capacités analytiques permettent à la fois de répondre aux exigences réglementaires, mais aussi d'établir le lien entre l'odeur et la chimie pour nos clients manufacturiers.

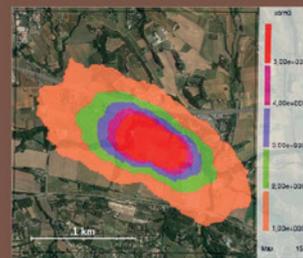


Le laboratoire d'Alès est équipé d'un olfactomètre à dilution dynamique (norme EN13725) permettant d'atteindre les concentrations en odeur (ou persistance) des effluents, ainsi que les paramètres novateurs tels que l'acceptabilité ou le potentiel de nuisance.

Le laboratoire est équipé pour la chimie de moyens analytiques fins comme des chromatographes en phase gazeuse avec spectromètre de masse, et de moyens plus globaux, qui peuvent être projetés sur le terrain comme un analyseur de COV à double entrée.



Nos interventions sur le terrain font appel aux pratiques associées aux analyses olfactométriques, basées sur des matériaux et méthodes définies dans le cadre de normes. Tant pour l'échantillonnage que pour la conservation des échantillons.



Ces interventions sont généralement accompagnées par des prestations destinées à fournir des informations complémentaires aux exigences réglementaires dans l'optique de suivre les équipements au cours du temps.

Les prestations sont aussi de l'ordre de l'audit, des comités de riverains et des simulations de dispersion.

Bien que basé à Alès, Olientica intervient dans le monde entier, avec des clients dans toute la France, le Luxembourg, l'Italie, la Suisse, la Russie, la Serbie, le Maroc, le Brésil et la Thaïlande.

Ceux qui nous ont fait confiance sont, soit du domaine de l'environnement (compostage, méthanisation, équarrissage, STEP, centre d'enfouissement technique, etc.), soit du monde manufacturier (industrie papetière, agro-alimentaire, du caoutchouc, de la chimie, aéronautique, etc.).



**contact@olentica.fr**

les feuilles des matrices argileuses composant le lit filtrant.

L'élimination des ions ammonium est également meilleure avec la colonne 2, surtout pour les tailles granulométriques du sable marin, 100 et 125 micromètres. Habituellement la présence des ions ammonium dans l'eau traduit un processus de dégradation incomplet de la matière organique. Les eaux usées étudiées présentent une forte concentration en ions ammonium dépassant les 450 mg/L. En excès, ces ions peuvent avoir un impact sur la faune et la flore des milieux récepteurs. Après passage sur les différentes colonnes composées de sables, cendres, mâchefers et sol nous

avons constaté un taux d'élimination des ions ammonium dépassant les 90 %.

### CONCLUSION

L'étude menée au laboratoire porte sur la dépollution des eaux usées industrielles et urbaines par la technique de filtration percolation sur les différentes colonnes de matrices purifiantes composées de sol, cendres volantes, mâchefers et le sable marin de granulométries allant de 100 µm à 200 µm.

Les résultats obtenus nous ont permis de déduire, dans des conditions précises, que les supports étudiés présentent un pouvoir efficace pour réduire la charge polluante organique

et minérale présente dans les eaux usées étudiées, avec un taux de réduction de la pollution moyen dépassant les 75 % pour tous les paramètres physicochimiques analysés.

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 utilisées en agriculture et pour l'irrigation des espaces verts.

La boue de filtration que nous avons utilisée est revalorisée par ajout du ciment dans le domaine du bâtiment et autres. ●

## Bibliographie

### 1. LAAMYEM A, HAFAD H, NAJEM M.

Caractérisations physiques et chimiques des eaux usées industrielles après filtration à travers la matrice sol-sable en fonction de la taille granulométrique. *Revue l'Eau, l'Industrie, les Nuisances* n°343, 2011, pp.85-88.

### 2. TAOUFIQ L, LAAMYEM A, MONKADE M, ZRADBA A, ELHACHMI E.

L'utilisation des déchets solides avec du sable pour le traitement des eaux usées de la zone industrielle de la ville de Tanger. *Revue l'Eau, l'Industrie, les Nuisances* n°389, 2016, pp.83-88.

### 3. LAAMYEM A, BEN ABDELLAH A, ESSADIQI E, FAQIR M, BOUYA M.

Filtration et réutilisation des rejets liquides des machines à laver par infiltration percolation à travers la matrice sable cendre. *Revue l'Eau, l'Industrie, les Nuisances* n°374, 2014, pp.100-105.

### 4. EL FADEL H, MERZOUKI M, BENLEMLIH M, LAAMYEM A, NAJEM M.

Contribution au traitement par infiltration-percolation des lixiviats de la décharge publique contrôlée de la ville de Fès au Maroc. *Revue l'Eau, l'Industrie, les Nuisances* n°341, 2011, pp.85-93.

### 5. NAJEM M, LAAMYEM A, LANÇAR I T.

Rétention des métaux lourds des eaux usées industrielles par filtration percolation à travers une couche sol-sable. *Revue l'Eau, l'Industrie, les Nuisances* n°327, 2009, pp.92-96.

### 6. LAAMYEM A, NAJEM M, MONKADE M, ZRADBA A, RADOUANI N.

Revalorisation des cendres volantes dans le traitement

des eaux usées industrielles de la ville d'El Jadida. *Revue l'Eau, l'Industrie, les Nuisances* n°332, 2010, pp.101-104.

### 7. BHATNAGAR A, SILLANPAA, M.

Applications of chitin- and chitosan-derivatives for the detoxification of water and wastewater. *Colloid Interface Sci.* 2009, p.26-38.

### 8. LAAMYEM A, BEN ABDELLAH A, ESSADIQI E, FAQIR M ET BOUYA M.

Rétention des métaux lourds des eaux de refroidissement industrielles par filtration percolation à travers des matrices filtrantes naturelles. *Revue l'Eau, l'Industrie, les Nuisances* n°373, 2014, pp.91-96.

### 9. CHAOUITE J, MONCEF M, LAAMYEM A, NAJEM M.

Approche analytique des éléments majeurs, micro-nutriments et métaux lourds dans les eaux de la lagune et des salines d'Oualidia (zone humide du Sahel côtier atlantique, Doukkala, Maroc) par spectrométrie de plasma ICP-MS (2<sup>ème</sup> partie). *Revue l'Eau, l'Industrie, les Nuisances* n°365, 2013, pp.107-115.

### 10. SCHNITZER M., S.H. KAHN.

1972. Humic substances in the environment, Marcel Dekker, New York, N.Y, pp. 204.

### 11. CHAPMAN, D.

Water quality assessment. A guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring. 1992. Londres, Angleterre.

### 12. COBB, D.G AND FLANNAGAN J.

Effects of discharge and substrate stability on density and species composition of stream insects. *J. Sci. Halieutiques*.1996, pp.1788-1795.

13. RODIER J. L'analyse de l'eau naturelle, eaux résiduaires, eau de mer, 8<sup>ème</sup> éd. Denod,

Paris, 1996, Vol 1, pp.1383.

14. ZH H M, WANG B. Multifunctional micronized modified kaolin and its application in wastewater treatment. *Hazardous Materials*, 2006, pp. 365-370.

15. ESSA M, FARRAGALLAH M. Clay minerals and their interaction with heavy metals and microbes of soils irrigated by various water resources. *Envir. Res.* 2006, pp.73-90.

16. SHEN Y.H. Phenol sorption by organoclays having different charge characteristics. *Physicochem.* 2004, Vol 232, pp. 143-149.

### 17. WEBER M, AND WESTFALL D.

Ammonium adsorption by a zeolite in a static and a dynamics system. *J.Environ. Qual.* 1983, Vol 12, p.549-552.

### 18. BURAGOHAIN D, SREDEEP S, AND SAIYOURI N.

A study on the Adsorption of ammonium in Bentonite and Kaolinite. *JCEBS*, 2013, pp. 2320-4087.

### 19. HAMMER, M.J., HAMMER, JR.,

2005. *Water and wastewater technology*, 4th Edition. Prentice Hall of India, New Delhi.

20. DUCHAUFOR P. Abrégé de pédologie : sol, végétation et environnement. 5<sup>ème</sup> édition, 1997, Masson.

### 21. COMITÉ NORMES ET STANDARDS.

1994. Ministère de l'environnement du Maroc. Rabat.

22. FURUMAL H, KHAKI S. Adsorption-desorption of phosphate by lake sediment under anaerobic conditions. *Wat. Res.* 1989, Vol 23, pp.677-683.

### 23. WIELAND E, STUMM W.

Dissolution kinetics of kaolinite in acidic aqueous solutions at 25 °C. *Geochimica*

