

Contribution de matériaux filtrants : déchets de marbre et sable à la rétention des phosphates des eaux grises

Safa CHAABANE^{#1}, Rim BAHRINI^{#2}, Khalifa RIAHI^{#2}, Béchir BEN THAYER^{#2}

^{#1} Institut National Agronomique de Tunisie (INAT)

^{#2} Ecole Supérieure des Ingénieurs de l'Équipement Rural de Medjez El Bab

¹ chaabanesafa@ymail.com

Résumé — Dans ce travail, nous avons étudié la contribution de matériaux utiles naturels : les déchets de marbre de type THALA (Kasserine-Centre Ouest de la Tunisie) issus des rejets de marbrerie d'Utique-Bizerte et les sables de carrière de Bouarada (Séliana, Nord-Ouest de la Tunisie) à la rétention des phosphates des eaux grises issues des douches du foyer universitaire de l'ESIER Medjez El Bab. L'influence de certains paramètres, comme le débit d'alimentation des colonnes de filtration et les proportions des matériaux filtrants a été étudiée. Les principaux résultats ont montré que pour un débit d'alimentation de la colonne de 10 ml/mn, nous avons enregistré des rendements optimums de déphosphatation de 73,8% et de 99,8% respectivement pour des proportions de 100% de sable (S) et de 5% marbre beige ou gris (MB/MG)-95% sable (S) pour un temps de résidence de 150 mn dans les colonnes de filtration. Ce système de rétention des phosphates des eaux grises est l'une des solutions les plus simples et les plus judicieuses sur le plan écologique et économique.

Mots clés — Eaux grises, Phosphates, Déchets de marbre, Sable, Filtration, Tunisie.

I. INTRODUCTION

Les eaux grises ou les eaux savonneuses sont des eaux usées issues des lavabos, des douches et bains. Ces eaux ont la particularité d'être peu chargées, et non grasses (les eaux de cuisine en sont exclues). Des travaux de la littérature ont indiqué que le volume typique des eaux grises produit par personne et par jour varie de 90 à 120 litres/personne/jour. Cette variation dépend du niveau de vie des habitants, de la structure de la population, des coutumes et des habitudes mais surtout de la disponibilité des ressources en eau (Morel et Diener, 2006). De point de vue qualitatif, nombreux auteurs ont mis le point sur les caractéristiques chimiques, physiques et microbiologiques des eaux grises (Eriksson et al., 2002 ; Halalsheh et al., 2008). Le recyclage des eaux grises représente un enjeu important pour la protection des ressources en eau potable. Leur réutilisation engendre des économies importantes en termes de coût d'utilisation mais aussi d'utilisation de la ressource. L'enjeu est encore plus

important pour les installations collectives qui sont de fortes consommatrices d'eau. Malgré les différences notables entre eaux usées domestiques et eaux grises, la plupart des systèmes d'épuration utilisés pour les eaux grises « héritent » de systèmes conçus pour traiter aussi les eaux vannes. Nous comptons trois techniques de traitement des eaux grises : des méthodes physiques (filtration sur sable, filtration sur sol, filtration membranaire suivi de désinfection), des méthodes chimiques (coagulation, oxydation photo-catalytique, échange ionique et adsorption sur charbon actif granulaire) et des méthodes biologiques (réacteurs biologiques type : RBC, SBR, USAB, MBR précédés par une sédimentation, une fosse septique ou un tamisage) (Li et al., 2009). La rétention des phosphates existants dans les eaux grises en vue d'une réutilisation future est actuellement identifiée de part le monde comme étant une voie de recherche assez prometteuse. Certains procédés physico-chimiques de rétention des phosphates des eaux grises comme la filtration sur sol (Itayama et al., 2004) et la coagulation au sel d'aluminium (Pidou et al., 2008) ont montré leurs preuves. D'autres procédés biologiques de rétention des phosphates des eaux grises comme les réacteurs biologiques (MBR, UASB et SBR) ont montré leurs limites (Lesjean et Gnirss, 2006 ; Elmitwalli et al., 2007 ; Hernandez et al., 2008). La rétention de l'eau grise peut se passer de systèmes complexes et onéreux. Les solutions les plus simples seront à la fois les plus économiquement intéressantes et ayant un bilan environnemental le plus positif. Certains systèmes proposent des solutions judicieuses sur le plan écologique et économique. Dans ce contexte, nous proposons d'étudier les performances d'un filtre à sable et à déchets de marbre type THALA pour la rétention des phosphates des eaux grises issues des douches du foyer universitaire de l'ESIER Medjez El Bab.

II. MATÉRIEL ET MÉTHODES

A. Matériaux filtrants

Les calcaires marbriers de couleur blanc-beige et gris: type THALA datent du campano-maastrichtien inférieur. Ces derniers sont très fréquents en Tunisie centrale (Thala,

Kasserine). Des échantillons de boues de marbres ont été prélevés d'une marbrerie implantée à Utique-Bizerte (Nord-Est de la Tunisie). Des poudres de marbre gris et beige de diamètre moyen variant entre 160 et 250 µm ont été obtenues après séchage à l'étuve à 105°C. Les caractéristiques chimiques et géotechniques des deux variétés de marbre type THALA sont très proches et montrent qu'il s'agit d'une pierre marbrière apte à être utilisée essentiellement comme plaques de revêtement interne et parfois externe.

TABLEAU 1
 CARACTERISTIQUES CHIMIQUES ET GEOTECHNIQUES DES
 CALCAIRES MARBRIERS

	Marbre Gris (MG)	Marbre Beige (MB)
Calcaire total (%)	95	100
Calcaire actif (%)	52	51
Matière Organique (%)	0,92	0,79
Poids Spécifique (g/cm ³)	2,67	
Porosité (%)	4 à 4,5	
Résistance à la compression (kg/cm ²)	420 à 1100	

Par ailleurs, du sable rouge a été apporté d'une carrière située à Bouarada-Siliana. Suite à des lavages successifs du sable avec l'eau de robinet pour éliminer les impuretés, les particules organiques et les particules en suspension, un séchage à l'étuve à 105°C suivi de tamisage a été réalisé pour obtenir un diamètre moyen variant entre 400 et 630 µm.

B. Echantillonnage des eaux grises

Les échantillons d'eaux grises des douches destinés à l'analyse et aux traitements physico-chimiques, ont été prélevés instantanément à partir d'un regard situé à l'annexe II du foyer universitaire de l'ESIER Medjez El Bab. Sept campagnes d'échantillonnage ont été nécessaires pour bien gérer l'étude expérimentale de la filtration des eaux grises sur colonnes de sable et de sable-calcaires marbriers. Les échantillons ont été récupérés dans un bassin d'égalisation et d'homogénéisation des eaux grises.

C. Dispositif expérimental

L'unité pilote est formée par trois colonnes de filtration en plexiglas de 15 mm de diamètre et de 36 cm de longueur. Chaque colonne est remplie de 2 cm de gravier grossier en bas comme étant un support des matériaux filtrants, de 28 cm de matériaux filtrants (mélange de sable et de marbre) et de 2 cm de gravier grossier en haut pour assurer l'uniformité de l'écoulement et éviter les débordements et le colmatage. Les colonnes de filtration seront alimentées à partir d'un petit bac de stockage des eaux grises qui se trouve à un niveau constant et permettant de stabiliser le débit d'alimentation des colonnes. L'eau grise filtrée sortante sera collectée dans un bac de réception puis conservée dans des flacons pour l'analyse des phosphates. L'étude de l'effet du débit d'alimentation des

colonnes de filtration a été conduite pour des débits Q1 et Q2 respectivement de 10 et de 60 ml/mn. Tandis que, l'étude de l'effet des proportions des matériaux filtrants a été menée pour des proportions de 100% sable (S) (référence), de 1% marbre (MB/MG)-99% sable (S) et de 5% marbre (MB/MG)-95% sable (S). Le dosage des orthophosphates a été effectué en utilisant la méthode de formation complexe hétéropolyacide-phosphomolybdique réduite par l'acide ascorbique. La lecture se fait à l'aide d'un spectrophotomètre U-V visible pour une longueur d'onde $\lambda = 690$ nm (Rodier, 1996).

III. RÉSULTATS ET DISCUSSION

A. Caractérisation des eaux grises

L'analyse des résultats de caractérisation des eaux grises des douches a montré une fluctuation des charges de pollution (tableau 2). C'est la raison pour laquelle un bassin d'égalisation et d'homogénéisation des eaux grises est utile pour amortir les fluctuations dans le temps (joue un rôle de tampon), qui sont préjudiciables au bon fonctionnement du procédé. Ce bassin peut permettre d'empêcher les à-coups brutaux de charge et de débit, de profiter de la neutralisation partielle, spontanée entre les composants, d'assurer une alimentation continue du système, même si l'effluent arrive en discontinu, de distribuer les charges de pollution de façon plus uniforme et de réduire le risque d'envoyer au système des eaux trop polluantes.

TABLEAU 2
 CARACTERISATION PHYSICO-CHIMIQUE DES EAUX GRISES DES
 DOUCHES

Paramètres	Unités	Christov a-Boal et al. (1996)	Surendra n et Wheatley (1998)	Li et al. (2009)	Cette étude
Couleur	Pt/Co	60 - 100	-	-	315-495
Turbidité	NTU	60 - 240	92-102	44-375	57-270
pH	-	6,4 - 8,1	7,6-8,1	6,4-8,1	6,6-8,7
CE	µS.cm ⁻¹	82-250	-		250-325
DCO	mgO ₂ .L ⁻¹	-	424-434	100-633	80-95
P-PO ₄ ³⁻	mgP.L ⁻¹	0,11-1,8	1,63-45,5	0,11-48,8	7,6-9,4
Coliformes fécaux	UFC.100 mL ⁻¹	170-3,3.10 ³	32-600	0-3,4×10 ⁵	10 ⁶ -10 ⁸

B. Effet du débit d'alimentation des colonnes de filtration

Les résultats trouvés ont montré que le débit d'alimentation des colonnes de filtration a un effet sur les performances de la déphosphatation des eaux grises (figure 1). Plus la vitesse de filtration est faible, plus le temps de résidence dans le filtre est important et plus le rendement de déphosphatation est intéressant. En effet, pour un débit d'alimentation de la colonne Q1= 10 ml/mn, nous avons enregistré des rendements optimums de déphosphatation de 73,8% et de 99,8% respectivement pour des proportions de 100% de sable (S) et

de 5% marbre beige ou gris (MB/MG)-95% sable (S) pour un temps de résidence de 150 mn dans les colonnes de filtration. Ces résultats corroborent les travaux de Jaouadi et al., 2013 qui ont mis en valeur l'influence du temps de rétention hydraulique (TRH) dans la rétention des phosphates par les déchets de marbre en mode dynamique.

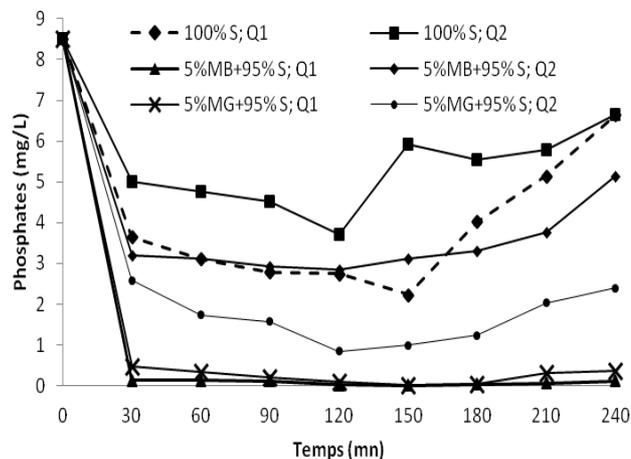


Fig 1: Effet du débit d'alimentation sur la rétention des eaux grises

C. Effet des proportions des matériaux filtrants

Les résultats trouvés ont montré que les proportions des matériaux filtrants ont une influence sur les performances de la rétention des eaux grises (figure 2). En effet, en maintenant constant un débit d'alimentation de la colonne Q1= 10 ml/mn, nous avons constaté que les rendements optimaux de rétention des phosphates varient légèrement de 94,9-96,8% à 99,8% respectivement pour des proportions de 1% marbre beige ou gris (MB/MG)-99% sable (S) et de 5% marbre beige ou gris (MB/MG)-95% sable (S) pour un temps de résidence de 150 mn dans les colonnes de filtration.

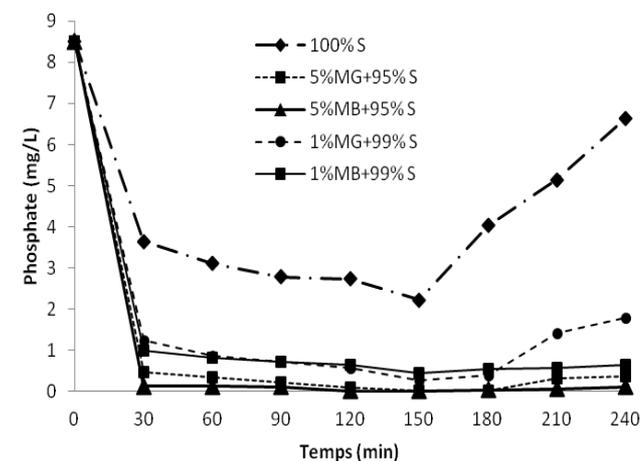


Fig 2: Effet des proportions des matériaux sur la rétention des eaux grises

D. Comparaison des performances de rétention des phosphates

La rétention des phosphates des eaux grises a fait l'objet de nombreux travaux de recherche. Il est intéressant de signaler la limite des procédés biologiques à bioréacteurs (MBR UASB SBR) dans la déphosphatation des eaux grises. Cependant, les procédés physico-chimiques (coagulation, filtration) ont montré des performances intéressantes de rétention des phosphates des eaux grises. Les performances de rétention des phosphates des eaux grises par filtration sur sable-déchets de marbre nous paraissent très intéressantes. La rétention des phosphates est quasi-totale dans notre cas (99,8%) (tableau 3). Ce système simple de rétention des phosphates des eaux grises propose des solutions judicieuses sur le plan écologique et économique.

TABLEAU 3 : COMPARAISON DES PERFORMANCES DE RECUPERATION DES PHOSPHATES

Procédés	C effluent (mg/l)	C influent (mg/l)	Rendement (%)	Références
Filtration sur sol	3,8	0,6	84,2	Itayama et al. (2004)
Coagulation au sel d'aluminium	1,66	0,09	94,6	Pidou et al. (2008)
Résines échangeuses d'ions	1,66	0,91	45,2	
Bioréacteur MBR	7,4	3,5	52,7	Lesjean et Gnriss (2006)
Bioréacteur UASB	9,9	7,5	24,2	Elmitwalli et al. (2007)
Bioréacteur SBR	8,5	5,8	31,8	Hernandez et al. (2008)
Marais artificiel	22,8	6,6	71	Gross et al. (2007)
Filtration sur sable	8,51	2,23	73,8	Cette étude
Filtration sur sable-déchets de marbre	8,51	0,01	99,8	

IV. CONCLUSION

Nous nous sommes proposé, dans ce travail, d'entreprendre des essais de rétention des phosphates des eaux grises des douches du foyer universitaire de l'ESIER Medjez El Bab. Les principaux résultats ont montré que pour un débit d'alimentation de la colonne de 10 ml/mn, nous avons enregistré des rendements optimaux de déphosphatation de 73,8% et de 99,8% respectivement pour des proportions de

100% de sable (S) et de 5% marbre beige ou gris (MB/MG)-95% sable (S) pour un temps de résidence de 150 mn dans les colonnes de filtration. Ces résultats très satisfaisants nous permettent de recommander de tel système de filtration des eaux grises comme étant l'une des solutions les plus simples qui seront à la fois les plus économiquement intéressantes et ayant un bilan environnemental le plus positif.

REFERENCES

- [1] Morel A, Diener S, Grey water management in low and middle-income countries. *Water and Sanitation in Developing Countries* (Sandec). Eawag: Swiss Federal institute of Aquatic Science and Technology; 2006. Accessed in 2007 at <http://www.sandec.ch>.
- [2] Eriksson E, Auffarth K, Henze M, Ledin A, Characteristics of grey wastewater. *Urban Water* 4 (2002) 85–104.
- [3] Halalshah M, Dalahmeh S, Sayed M, Suleiman W, Shareef M, Mansour M, Safi M, Grey water characteristics and treatment options for rural areas in Jordan. *Bioresource Technology* 99 (2008) 6635–6641
- [4] Li F, Wichmann K, Otterpohl R, Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses. *Science of the Total Environment* 407 (2009) 3439–3449
- [5] Itayama T, Kiji M, Suetsugu A, Tanaka N, Saito T, Iwami N, Mizuochi M, Inamori Y, On site experiments of the slanted soil treatment systems for domestic gray water. *Water Sci Technol* 2004;53(9):193–201.
- [6] Pidou M, Avery L, Stephenson T, Jeffrey P, Parsons SA, Liu S, Memon FA, Bruce Jefferson B, Chemical solutions for greywater recycling. *Chemosphere* 2008;71(1):147–155.
- [7] Lesjean B, Gnirss R, Grey water treatment with a membrane bioreactor operated at low SRT and low HRT. *Desalination* 2006;199(1-3):432–4.
- [8] Elmitwalli TA, Shalabi M, Wendland C, Otterpohl R, Grey water treatment in UASB reactor at ambient temperature. *Water Sci Technol* 2007;55(7):173–180.
- [9] Gross A, Shmueli O, Ronen Z, Raveh E, Recycled vertical flow constructed wetland (RVFCW) - a novel method of recycling greywater for irrigation in small communities. *Chemosphere* 2007;66(5):916–23.
- [10] Hernandez L, Temmink H, Zeeman G, Marques A, Buisman C, Comparison of three systems for biological grey water treatment. *Proceedings of Sanitation Challenge: New Sanitation Concepts and Models of Governance*, 357-364, Wageningen, The Netherlands, 2008.
- [11] Rodier J, *L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer*. Sixième édition, (1996), Dunod Technique, 1135p.
- [12]
- [13] Christova-Boal D, Eden RE, & Mc Farlane S, An investigation into greywater reuse for urban residential properties. *Desalination*, (1996),106, 391–397.
- [14] Surendran S, & Wheatley AD, Grey-water reclamation for non-potable re-use. *J. CIWEM*, (1998),12, 406–413.
- [15] Jaouadi S, Wahab MA, Anane M, Bousselmi L, Jellali S, Powdered marble wastes reuse as a low-cost material for phosphorus removal from aqueous solutions under dynamic conditions, *Desalination and Water Treatment*, (2013), 1–11.