

Vieillissement des unités de biofiltration des eaux usées : bilan après 10 années de fonctionnement

ABSTRACT

Ageing of the units of biofiltration of waste water: balance assessment after 10 years of functioning.

For more than 10 years, the Interdepartmental Association for Sewage disposal in Paris Conurbation (SIAAP), which is in charge of both the transport and the treatment of the Great Paris wastewaters, use biofilters as a step of the water treatment in its plants. Since such treatment is commonly adopted in most of the sewage plants existing in this area, the SIAAP engineers were induced to investigate the fine details and complexity associated with the running of these attach growth systems. In this context, the general state of the biofiltration units of the Seine Centre plant (800000 equivalent inhabitants) has been checked. Both kind of biofilters used (Biofor® and Biostyr®) have been emptied and inspected to know exactly the wearing effects after 10 years of running. Over all, the biofilteres are in a good shape. The pollutant reduction rates are good enough and allow to achieve the quality objectives pursuant to the EU Water Framework Directive. Diagnostics have shown that some slight amendments on equipments and an adapted behaviour can prevent major corrective operations and confine the renovation works to a filling up with media supports.

S. Azimi, P. Ferreira, SIAAP - Usine Seine Centre
V. Rocher, C. Paffoni, A. Goncalves, SIAAP -
Direction du Développement
et de la Prospective

Depuis plus de 10 ans, le Syndicat Interdépartemental pour l'Assainissement de l'Agglomération Parisienne (SIAAP), en charge du transport et de l'épuration des eaux usées, utilise des unités de biofiltration dans ses stations d'épuration. Le développement important de ce procédé au sein des usines parisiennes a incité les ingénieurs et chercheurs du SIAAP à étudier largement ce procédé afin d'en cerner précisément les performances et les limites. Ainsi, l'état général des ouvrages de biofiltration de la station Seine Centre (Colombes, 800 000 équivalents habitants) a été examiné. Les différents biofiltres de cette usine (Biofor® et Biostyr®) ont été vidangés et inspectés afin d'évaluer précisément l'état d'usure des différents organes après plus de 10 années d'exploitation. Globalement, les biofiltres fonctionnent de manière très satisfaisante et permettent de maintenir des rendements d'élimination en adéquation avec les contraintes environnementales et réglementaires. Les expertises ont montré qu'avec des modifications mineures de certains équipements, dès la conception, et un mode de conduite adapté, les interventions de maintenance pouvaient n'être réduites qu'à un simple appoint en média filtrant.

Le Syndicat Interdépartemental pour l'Assainissement de l'Agglomération Parisienne (SIAAP), en charge du transport et de l'épuration des eaux usées en agglomération parisienne, a intégré, dès 1998, des unités de biofiltration dans ses stations d'épuration des eaux usées. Aujourd'hui, sur les 2,3 millions de mètres cubes d'eaux usées épurés quoti-

diennement, environ 2 millions de mètres cubes sont traités sur des unités de biofiltration.

Le développement important de ce procédé au sein des usines parisiennes a incité les ingénieurs et chercheurs du SIAAP à étudier largement ce procédé afin d'en cerner précisément les performances et les limites (Azimi et al., 2010 ; Paffoni et Pay-

raudeau, 1998 ; Payraudeau et al., 2000 ; Rocher et al., 2010a ; Rocher et al., 2008 ; Rocher et al., 2007 ; Rocher et al., 2006 ; Samie et al., 2010). Parallèlement à ces études, des retours d'expérience techniques sur l'exploitation des biofiltres sont régulièrement établis. Ces retours d'expérience visent à apporter des informations sur les finesses et les difficultés liées à l'exploitation des unités de biofiltration.

Ce travail s'inscrit pleinement dans cette démarche de capitalisation et de transmission des informations acquises par nos équipes techniques. Il vise à apporter des informations sur l'état général des ouvrages de biofiltration après 10 ans de fonctionnement. Les informations présentées dans ce document proviennent de diagnostics techniques récemment effectués sur la station Seine Centre de Colombes (Hauts-de-Seine). Les différents biofiltres de cette usine (Biofor® et Biostyr®) ont été vidangés et inspectés afin d'évaluer précisément l'état d'usure des différents organes. L'objectif de ce document technique est de présenter les principales informations et conclusions tirées de ces diagnostics.

Présentation de l'usine Seine Centre

Caractéristiques générales de l'usine

L'usine Seine Centre fait partie des 5 stations d'épuration du SIAAP vers lesquelles sont acheminés quotidiennement 2,3 millions de mètres cubes d'eaux usées générés par plus de 8 millions de franciliens. Cette usine, d'une capacité de 800 000 équivalents habitants, traite chaque jour 240 000 m³ d'eau. La filière de traitement de cette usine est schématisée par la figure 1.

Les eaux brutes entrant sur la station sont tout d'abord pré-traitées. Cette étape, incluant un dégrillage et un dessablage – déshuilage, permet un dégrossissage de l'effluent qui protège et fiabilise le traitement des eaux effectué en aval. Les eaux subissent ensuite un traitement physico-chimique dont le but est de retenir une part importante des matières en suspension et du phosphore. Ce traitement consiste en une décantation lamellaire favorisée par l'ajout de réactifs chimiques coagulant – floculant (chlorure ferrique – polymère anionique). Ce traitement physico-

chimique est suivi d'une filtration biologique effectuée sur 3 étages de biofiltres qui assurent le traitement du carbone et le traitement complet de l'azote (nitrification/dénitrification). Les eaux ayant subi les traitements physico-chimique et biologique sont ensuite rejetées dans le milieu récepteur (Seine).

Caractéristiques des unités de biofiltration

Descriptif des ouvrages

Le traitement biologique s'effectue sur 3 étages de biofiltres. L'étage 1 est constitué de 24 filtres biologiques de type Biofor® (104 m²/biofiltre – matériau granulaire : biolite). Cet étage, aéré par un dispositif placé à la base du matériau filtrant, est principalement destiné au traitement de la pollution carbonée. L'étage 2 comprend 29 filtres biologiques de type Biostyr® (111 m²/biofiltre – matériau granulaire : biostyrène). Cet étage, également aéré par un dispositif placé à la base du matériau filtrant, est le siège du processus de nitrification. Le dernier étage est composé de 12 filtres biologiques de type Biofor®. Cet étage non aéré est destiné à la dénitrification des eaux usées. Dans cette configuration, la dénitrification

nécessite l'ajout d'une source de carbone exogène (méthanol).

Conditions d'exploitation

Cas de la filtration. La station Seine Centre traite majoritairement les eaux usées de l'ouest de Paris, caractérisé par des effluents principalement domestiques. Globalement, l'alimentation de cette station est quantitativement et qualitativement constante au cours de l'année. De ce fait, les conditions de fonctionnement des ouvrages de biofiltration de la station Seine Centre sont relativement stables au cours du temps. Le tableau 1 présente sur une période de 3 ans (2006 à 2009), les charges appliquées, les conditions d'aération et les vitesses hydrauliques sur les ouvrages de biofiltration dans les conditions de temps sec. Pour les biofiltres dénitrifiants, des précisions sur la régulation de méthanol ont été ajoutées.

La station Seine Centre bénéficie d'un dimensionnement assez large de ses ouvrages de traitement biologique qui permet d'assurer en toutes circonstances une haute qualité de traitement. Les charges appliquées sur les filtres biologiques responsables du traitement du carbone sont en moyenne de 3,7 kg DCOs.m⁻³.j⁻¹ et 2,4 kg

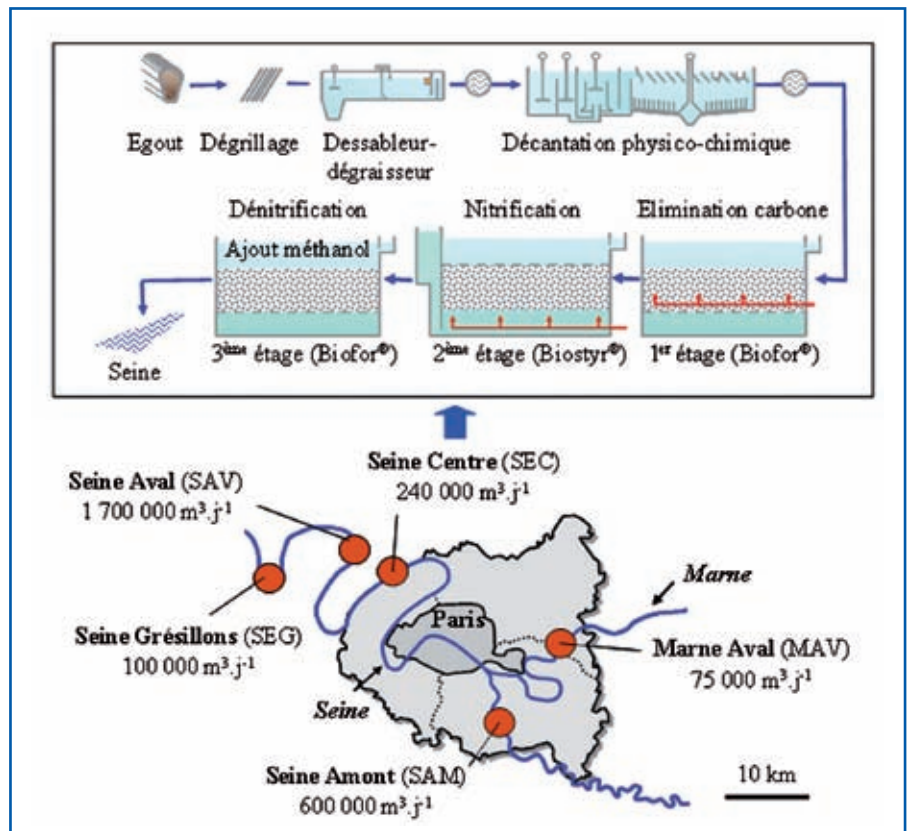


Figure 1 : Filière de traitement des eaux de l'usine Seine Centre du SIAAP.

Tableau 1 : Conditions d'exploitation des biofiltres en cycle de filtration (données de 2006 à 2009, n = 511)

Biofiltres de type Biofor® (Traitement Iliaire du carbone)	CVa MES	1,3 (±0,3) kg/m ³ /j
	CVa DCOs	3,7 (±0,9) kg O ₂ /m ³ /j
	CVa DBO	2,4 (±0,6) kg O ₂ /m ³ /j
	Aération	2 (±0,2) Nm ³ air/m ³ d'eau 26 (±9,3) Nm ³ air/kg DBO
	Vitesses hydrauliques	4 (±0,5) m/h
Biofiltres de type Biostyr® (Nitrification Illaire)	CVa NH ₄ ⁺	0,6 (±0,1) kg N-NH ₄ ⁺ /m ³ /j
	CVa DBO	0,5 (±0,2) kg O ₂ /m ³ /j
	Aération	3,0 (±0,3) Nm ³ air/m ³ d'eau 141 (±37) Nm ³ air/kg N-NH ₄ ⁺
	Vitesses hydrauliques	4 (±0,7) m/h
Biofiltres de type Biofor® (Post-dénitrification)	CVa NO ₃ ⁻	1,6 (±0,3) kg N-NO ₃ ⁻ /m ³ /j
	Régulation du méthanol	2,4 (±0,4) kg DBO injectée/kg N-NO ₃ ⁻ appliqué
	Vitesses hydrauliques	8,2 (±1,4) m/h

DBO.m⁻³.j⁻¹. Ces conditions d'exploitation permettent le maintien de concentrations en polluants organiques très faibles dans les eaux décarbonées (35 mg O₂.l⁻¹ en DCOs et 15 mg O₂.l⁻¹ en DBO), ce qui est favorable à l'installation d'une nitrification tertiaire efficace. Les charges en ammonium appliquées sur les filtres biologiques nitrifiants sont elles aussi modérées. Une charge moyenne de 0,6 kg N-NH₄⁺.m⁻³.j⁻¹ est appliquée sur les Biostyr® nitrifiants alors que ces ouvrages sont capables de traiter des charges comprises entre 1 et 1,5 kg N-NH₄⁺.m⁻³.j⁻¹ (Paffoni et Payraudeau, 1998; Rocher et al., 2008). Là encore, ces conditions d'exploitation permettent d'atteindre des hautes performances épuratoires; les rendements d'élimination du NH₄⁺ de plus de 98 % permettant de maintenir des concentrations en NH₄⁺ inférieures à 1 mg N.l⁻¹. Enfin, les biofiltres dénitrifiants reçoivent des charges volumiques modérées de 1,6 ± 0,3 kg N-NO₃⁻.m⁻³.j⁻¹, ces ouvrages pouvant admettre des charges de l'ordre de 2,5 kg N-NO₃⁻.m⁻³.j⁻¹ (Rocher et al., 2010b). Sur ces ouvrages, les injections de méthanol sont régulées de manière à assurer une concentration en azote global résiduelle inférieure à 10 mg N.l⁻¹.

Cas du lavage. Au cours de la filtration des eaux usées, le matériau support est colonisé par la biomasse épuratrice et piège les particules en suspension non captées lors des traitements amont. Ces phénomènes qui s'opèrent conjointement induisent une diminution de la porosité et, en conséquence, un accroissement de la résistance à l'écoulement de l'effluent. Selon le mode de fonctionnement du biofiltre, cette dissipation énergétique est plus ou moins forte. Le phénomène de gon-

flement du massif filtrant, spécifique à la biofiltration en expansion (Biofor®, par exemple), limite la résistance à l'écoulement du massif. Au contraire, le passage du matériau filtrant, propre à la biofiltration en compression (Biostyr®, par exemple), augmente la résistance à l'écoulement du massif et favorise la perte énergétique. De manière générale, la différence de pression entre l'entrée et la sortie du biofiltre, communément appelée perte de charge (PDC), constitue un indicateur fiable de l'état d'encrassement du biofiltre sur lequel se base l'exploitant pour déclencher le lavage du biofiltre et ainsi éviter les phénomènes de colmatage. Le lavage consiste en une injection alternée d'air et d'eau au sein du massif filtrant qui crée un phénomène d'attrition entre les grains. L'objectif est de décrocher la biomasse excédentaire tout en maintenant une population active sur le support et en limitant la perte de matériau filtrant. Le lavage permet un retour à la perte de charge dite initiale qui traduit l'état d'ensemencement du filtre en début de cycle de filtration. Sur la station Seine Centre, les lavages sont effectués toutes les

24 à 36 heures sur l'ensemble des biofiltres. Ces lavages peuvent varier d'un type de filtre à l'autre mais globalement, ils doivent intégrer les étapes majeures de détassage, d'attrition et de rinçage afin d'assurer une extraction efficace de la biomasse excédentaire (tableau 2).

La phase de détassage est relativement longue (jusqu'à 4 mn) afin d'assurer l'expansion du matériau. Au sein du média filtrant, cela facilite le passage des eaux de lavage et des matières en suspension (MES) décrochées du biofilm. Ensuite, il est nécessaire d'effectuer une alternance de phases de décrochage et de rinçage. Le nombre de cycle (de 2 à 5) doit permettre de décrocher une quantité de MES suffisante sans trop augmenter la durée du lavage. Enfin, le rinçage final doit être suffisamment long (entre 300 et 550 secondes suivant les types de filtres) afin d'assurer la récupération de toute la biomasse décrochée au sein du média filtrant.

Dans le cas des biofiltres de type Biofor®, une vidange partielle est également nécessaire. Cette étape, préalable à la phase de détassage, a un rôle double. D'une part, elle permet de connaître le degré d'encrassement du filtre; ce dernier est d'autant plus grand que le temps de vidange est long. D'autre part, la baisse du niveau liquide avant la phase de détassage diminue la quantité de matériau susceptible de partir avec les eaux sales.

État général des ouvrages de biofiltration

Génie civil et équipements périphériques

Après vidange du média filtrant, des expertises visant à évaluer l'état du génie civil et

Tableau 2 : Paramètres de lavage des biofiltres

	Cycle	Phase	Débit eau (m ³ /h)	Vitesse eau (m/h)	Débit air (Nm ³ /h)	Durée (s)
Biofor®	1	Vidange	0	0	0	< 720
	1	Détassage	0	0	6000	100 - 240
	1	Air et eau	900 - 1700	8,5 - 16,5	5600 - 6000	60 - 90
	2 à 5	Rinçage Air et eau	1800 - 2500	17,5 - 24,0	0 5600 - 6000	60 - 100 80 - 120
	1	Rinçage final	1800 - 2500	17,5 - 24,0	0	400 - 550
Biostyr®	1	Détassage	0	0	1000 - 1500	100 - 240
	2 à 5	Rinçage Air	5500 0	50 0	0 1000 - 1500	60 - 100 80 - 140
	1	Rinçage final	5500	50	0	300 - 400

des équipements périphériques des filtres de type Biofor® et Biostyr® ont été réalisées. Les résultats et les conclusions de ces expertises sont détaillés dans la suite de ce paragraphe.

Cas des filtres de type Biofor®

Les filtres Biofor® de la station Seine Centre interviennent dans le traitement des effluents à deux étapes différentes. Tout d'abord, 24 filtres aérés servent au traitement du carbone. Puis, en fin de filière, 12 filtres alimentés en eau nitrifiée sont utilisés pour l'étape de dénitrification. Cette étape se déroule avec l'ajout d'un substrat carboné, le méthanol, en condition d'anoxie.

État du génie civil. L'examen des voiles a été effectué par vérification de l'enrobage des armatures, par la mesure de la carbonatation du béton et par des prélèvements par carottage. Ces investigations ont mis en évidence une excellente qualité de béton sans aucune pathologie physico-chimique. Toutefois, bien que non significatif et sans conséquence pour l'état de la cellule, des phénomènes d'abrasion ont été constatés en surface des voiles, dus probablement au frottement des grains de biolite lors des périodes de lavage (figure 2 : zone de marnage). Cette hypothèse est confirmée par l'examen des voiles sous plancher qui ne présentent aucune usure du fait de l'absence de matériau filtrant (figure 2 : espace sous plancher). De même, la sous face et la surface du plancher sont intactes.

État des équipements périphériques. Au sein de cette structure en béton, des équipements sont installés afin de permettre l'alimentation du filtre en effluent et en air. Le plancher d'un Biofor® est équipé de buselures (50 par m²) qui ont pour rôle de laisser passer les eaux en phase ascendante et descendante. L'air est injecté par l'intermédiaire de rampes munies d'oxazur®. Ces derniers (de 19 à 25 au m²) sont constitués d'une membrane percée (1,5 mm de diamètre) maintenue sur la rampe grâce à un système de fixation formé par deux demi-cylindres retenue par deux anneaux. Cet équipement sert d'une part à améliorer la diffusion de l'air au sein du massif et permet, d'autre part, de déboucher des orifices éventuellement bouchés par des grains de biolite par dilatation de la membrane. Au-dessus de cette ramification d'oxazur®



Figure 2 : État d'une cellule de filtration de type Biofor® et de ses équipements périphériques.

et de buselures, il y a 2 couches successives de 15 cm de gravier. Le rôle de ces deux couches est d'améliorer la diffusion de l'air lors de la filtration et d'empêcher la couche de biolite de granulométrie plus fine (3,5 mm) qui se trouve au dessus (de l'ordre de 3 m d'épaisseur) de boucher les oxazur® et les buselures. Des tranquillisateurs sont, par ailleurs, installés au niveau de la surverse des eaux pour retenir la biolite éventuellement entraînée avec les eaux de lavage. Après 10 ans d'exploitation, l'état des équipements des biofiltres est jugé satisfaisant pour les conduites d'aération et les rampes de fond (figure 2 : tranquillisateurs et supports et ramifications de fond). La conduite d'air ne présente aucune dégradation et les rampes de fond sont également en place, sans distorsion prononcée. La qualité des buselures, à travers lesquelles passe l'effluent à traiter, n'a pas été altérée. Néanmoins, un nettoyage est nécessaire afin de ne pas gêner le passage des effluents en contribuant à une augmentation des pertes de charge. Les désordres concernant les oxazur®, les couches successives de gravier et les tranquillisateurs. - *Cas des oxazur®.* Les oxazur® sont fixés sur les rampes d'injection d'air de manière

à assurer une diffusion optimale de l'air dans le massif filtrant. Or, l'inspection de ces rampes d'alimentation montre que la majorité des oxazur® est manquante (figure 2 – ramifications de fond). Le grossissement permet de constater qu'il ne reste plus qu'un seul oxazur® en place sur la première rampe d'aération, ailleurs, seuls les anneaux de fixation sont visibles, les oxazur® s'étant décrochés. Il apparaît que ces départs d'oxazur® ont eu lieu sur toute la période d'exploitation des ouvrages et ne sont pas liés à un événement particulier. Ceci est probablement dû à une mauvaise technique de fixation de ces éléments sur les rampes. Ainsi, durant l'essentiel de la durée d'exploitation des Biofor®, l'air a été directement injecté par l'intermédiaire d'orifices de 4 mm de diamètre au lieu de passer par la membrane de 1,5 mm. Or, dans ces conditions, aucune baisse des rendements épuratoires n'a été constatée et aucun problème de bouchage des orifices d'aération n'a été observé. Par conséquent, on peut raisonnablement s'interroger sur l'utilité des oxazur® dans les conditions d'exploitation de cette usine (charges appliquées modérées - tableau 1) ; un simple système d'aération par rampe perforée

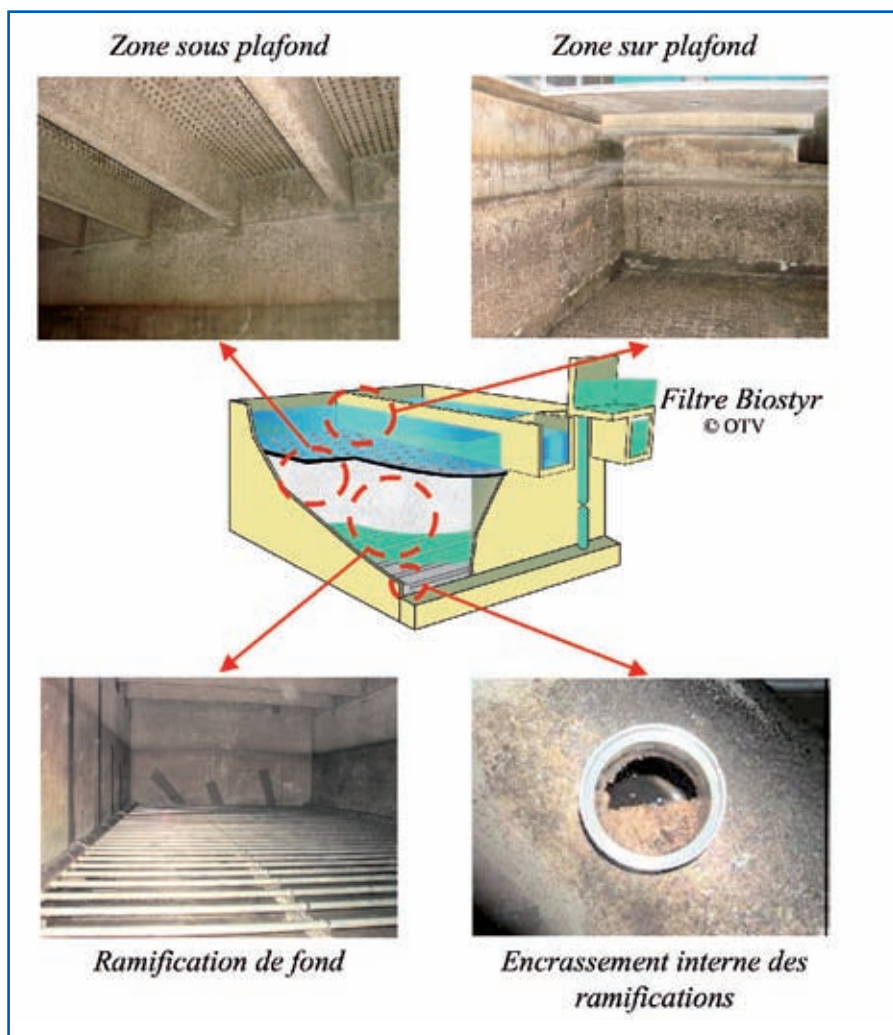


Figure 3 : État d'une cellule de filtration de type Biostyr® et de ses équipements périphériques.

étant probablement suffisant.

- *Cas des couches de graviers.* Les couches de gravier ne jouent pas pleinement leur rôle et n'empêchent pas la biolite d'atteindre le plancher du filtre. Dans le fond du bassin, les deux couches de gravier sont mélangées avec la biolite. Ce mélange est homogène sur une hauteur de 60 à 70 cm sur toute la surface du filtre. Or, malgré l'absence d'une couche compacte et homogène de graviers sous le massif filtrant, les rendements épuratoires ont toujours été satisfaisants et l'air injecté a toujours été bien réparti au sein du massif filtrant. En effet, pendant 10 ans d'exploitation, aucune émanation d'hydrogène sulfuré, liée à la formation de zone anaérobie au sein du massif filtrant, n'a été constatée. Ce constat incite à s'interroger sur la possibilité de maintenir la ségrégation entre le gravier et la biolite et donc de l'intérêt de ces couches de graviers au fond des ouvrages.

- *Cas des tranquillisateurs.* En surface, une corrosion importante a été constatée sur certains équipements. En particulier, les tranquillisateurs, servant à retenir le média filtrant lors des périodes de lavage, ainsi que leurs supports sont fortement corro-

dés (figure 2 : tranquillisateur et supports). Ce phénomène peut résulter d'une différence de potentiel électrochimique entre les différents matériaux utilisés (aluminium et acier inoxydable) et/ou à l'exposition de ces éléments à une atmosphère agressive. Afin d'éviter ce type de dégradation, les structures en aluminium peuvent être remplacées par de l'acier inoxydable ; ce dernier n'ayant subi aucune dégradation significative.

Cas des filtres de type Biostyr®

Les 29 Biostyr® de la station Seine Centre, aérés et alimentés en eau exempte de matière organique, servent à la nitrification des eaux.

État du génie civil. Deux zones sont distinguées sur les voiles et les planchers des filtres de type Biostyr® (figure 3 : zone sous plafond et zone sur plafond). La première zone, comprise entre le bas du massif filtrant et le niveau des eaux traitées, présente une dégradation sensible. Le béton des voiles, poutres et sous face de plafond est dégradé de manière significative, et présente un manque de laitance entre les granulats. Cette dégradation surfaci-

que s'étend sur environ 3 à 5 mm de profondeur, hormis au niveau de la sous face de plafond où l'altération est légèrement plus faible. La seconde zone, en dessous du niveau bas du média filtrant et au-dessus du niveau liquide, ne présente aucune dégradation.

Cette dégradation, comprise entre la hauteur du massif filtrant et la hauteur d'eau traitée, est très vraisemblablement de nature chimique et directement liée aux baisses de pH susceptibles de se produire dans les ouvrages nitrifiants. En effet, l'activité bactérienne mise en jeu lors de la nitrification des eaux usées est consommatrice d'alcalinité ; l'oxydation biologique d'un gramme d'azote ammoniacal ($N-NH_4^+$) s'accompagne de la consommation de 7,07 grammes d'alcalinité sous forme de $CaCO_3$ (Crites et Tchobanoglous, 1998 ; Martin, 1979 ; Metcalf et Eddy, 2003). Il convient cependant de souligner que la variation de pH, induite par l'activité nitrifiante, est limitée dans le cas de biofiltres en fonctionnement. À titre d'illustration, l'effluent présente un pH de 7,7 ($TAC \approx 300 \text{ mg } CaCO_3 \cdot l^{-1}$) en entrée de nitrification et un pH de 7,4 en sortie de nitrification ($TAC \approx 140 \text{ mg } CaCO_3 \cdot l^{-1}$). En revanche, lors des périodes d'arrêt de l'alimentation décidé, par exemple, pour opérer une maintenance des ouvrages (environ 3 semaines par an dans le cas de Seine Centre), les conditions peuvent être très différentes. Lors des arrêts, les ouvrages sont généralement maintenus en eau, sans renouvellement de l'effluent, et avec une injection d'air pour éviter les phénomènes de fermentation. Dans ces conditions, l'azote libéré par la lyse bactérienne est nitrifié par la biomasse active et le pH peut devenir très acide, mettant en péril l'intégrité des bétons. L'ensemble de ces phénomènes est longuement décrit par Rocher et al (2009, 2010c) qui proposent deux guides techniques sur la gestion des périodes transitoires d'arrêt et redémarrage des biofiltres.

État des équipements périphériques.

Les équipements des filtres de type Biostyr® se trouvent à deux niveaux. D'une part, le plafond sert de support aux crépines ($49 \text{ au } m^2$) permettant de retenir les billes de polystyrène et, d'autre part, des ramifications sont disposées sur le fond (3 ramifications par m), avec des perforations laté-

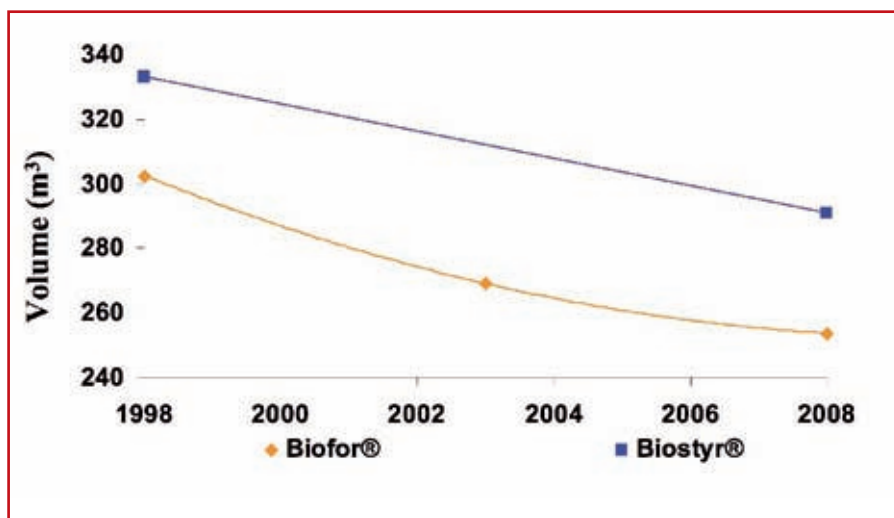


Figure 4 : Valeurs médianes des volumes de matériau au sein des biofiltres de la station Seine Centre en 1998, 2003 et 2008.

rales de 3,5 mm (3 perforations par m) permettant l'injection d'air (figure 3 : ramification de fond). Les crépines ayant subi les mêmes attaques chimiques que les bétons, leur plastique est devenu cassant. Par précaution, il a donc été décidé de les changer pour éviter des départs de matériau par le biais de petites entailles. À l'exception des crépines, le constat général révèle une bonne tenue mécanique de l'ensemble des équipements périphériques. L'extérieur des collecteurs d'air ne présente aucune altération. L'acier ne s'est ni oxydé, ni érodé. Les faces internes des tuyauteries sont également en bon état. À noter uniquement la présence d'un léger dépôt d'oxyde de fer qui n'a toutefois pas provoqué de corrosion. Au niveau des départs des ramifications, un dépôt important constitué de particules diverses et de calcaire a été observé (figure 3 : encrassement interne des ramifications). Ce dépôt engendre une obstruction de la section de passage de l'air, avec parfois plus de 50 % de surface atteinte, sans toutefois impacter significativement les rendements d'épuration. Un simple nettoyage permet de retrouver les performances initiales.

Les massifs filtrants

Le comportement du massif doit être étudié suivant deux aspects. D'une part, il est important d'évaluer la perte du matériau. En effet, lors des périodes de lavage des cellules, une partie du média filtrant part avec les eaux de lavage du fait des phénomènes de brassage. Cette diminution d'épaisseur du média peut, à terme, modifier les paramètres de fonctionnement des ouvrages (pertes de charges initiales, rendements, etc.). D'autre part, les caractéristiques physiques du média peuvent varier

après une longue période d'utilisation. Les phénomènes d'attrition auxquels est soumis le média peuvent engendrer des modifications de l'aspect des grains (facettisation, perte de porosité, etc.), et donc des caractéristiques physiques de ces derniers. Ainsi, pour chaque type de média filtrant (grains de biolite et billes de polystyrène), ces deux aspects ont été considérés.

Pertes de matériau

Afin d'évaluer la perte de matériau sur les biofiltres de la station Seine Centre, des mesures de hauteur de matériau ont été faites sur l'ensemble des cellules. Ces mesures ont été faites au démarrage de la station en 1998 et en 2008 ; une mesure intermédiaire a été effectuée en 2003 dans le cas des Biofor® (figure 4).

Il faut noter que la mesure de la hauteur de matériau ne permet pas de faire la distinction entre la part réellement perdue et la part qui a subi un tassement. En effet, au cours de son fonctionnement, le filtre transite par une succession de phases d'aération et/ou de compression (par augmentation des pertes de charges) qui engendrent logiquement un tassement, et donc

une diminution de la hauteur de média filtrant. Or, l'appréciation de la part de perte de hauteur liée à ce phénomène est difficile à évaluer par rapport à la part réellement perdue. Cela s'applique d'autant plus au cas des Biostyr® qui ont un mode de fonctionnement par compression. Dans ce cas, un arrangement des billes s'opère durant les premières années de fonctionnement. De ce fait, les pertes qui sont évaluées par la suite sont probablement des valeurs surestimées par rapport aux quantités réellement perdues après 10 ans de fonctionnement.

Cas des Biofor®. Les mesures ont été effectuées sans distinction du type de traitement car, que les biofiltres soient utilisés pour l'étape de traitement du carbone ou de la dénitrification, les cycles de filtration et de lavage sont sensiblement identiques. Suite à 10 années de fonctionnement, la perte de matériau peut être estimée à 16 %, ce qui représente une quantité approximative de 1 750 m³. La perte de matériau n'est pas constante au cours du temps. L'infléchissement de la courbe indique, en effet, qu'au fur et à mesure du temps, les pertes de matériaux s'amenuisent (figure 5). À partir d'une certaine hauteur - de l'ordre de 2,45 m de matériau (soit 255 m³) dans le cas de Seine Centre - la perte semble même devenir négligeable. Ce ralentissement de la perte de matériau est lié à deux phénomènes. D'une part, les grains de biolite se répartissent dans le massif en classe de taille, les grains les plus lourds se trouvant logiquement dans la partie basse du massif. Les grains de petites tailles qui restent dans la partie supérieure du massif sont probablement perdus lors des premières années de fonctionnement. D'autre part, la baisse de niveau de matériau augmente mécaniquement



Figure 5 : Décanteur à six trémies pour la récupération des grains de biolite (photographie et schéma de principe).

Tableau 3 : Caractéristiques physiques de la biolite prélevée sur deux filtres Biofor® utilisés pour le traitement du carbone et la dénitrification, comparées à celles de la biolite neuve

	Biofor® carbone		Biofor® Dénitrifiant		Biolite neuve
	Niveau haut	Niveau bas	Niveau haut	Niveau bas	
Taille effective (TE) (mm)	3,55	3,75	3,60	3,80	3,2 < TE < 3,8
Coef. d'uniformité (CU)	1,39	1,33	1,40	1,40	CU < 1,5
Friabilité 750 coups (%)	< 0,5	< 0,5	0,0	0,2	< 2,0
Friabilité 1500 coups (%)	< 0,5	< 0,5	0,0	0,5	< 4,0
Perte à l'acidité (%)	0,7	0,5	0,5	0,7	< 7,0
Densité tassée (g/ml)	0,88	0,87	0,85	0,85	0,75 < d < 0,90

quement la hauteur entre le niveau haut du massif et la surverse, ce qui tend à limiter les pertes.

Cependant, bien que fortement diminuées, les quantités qui partent s'accumulent dans la bêche de réception des eaux sales et endommagent, à terme, les pompes qui servent à l'évacuation des eaux. Afin de préserver le bon fonctionnement des équipements et de permettre une récupération des grains de biolite, un « piège à biolite » a été installé, en 2006, sur la station Seine Centre (figure 5).

Ce piège à biolite, placé en entrée de la bêche de récupération des eaux sales, est composé d'une zone de tranquillisation suivie d'une série de deux lignes de décantation en parallèle. Chaque ligne est composée de 3 trémies permettant la récupération des grains de biolite qui se déposent dans le fond. Depuis son installation, ce système relativement simple a permis de récupérer la totalité de la biolite perdue et à la réinjecter dans les filtres.

Cas des Biostyr®. Les mesures de hauteur de matériau ont été effectuées durant 2 périodes sur les cellules de type Biostyr®, en 1998 et en 2008 (figure 4). La perte est comprise entre 16 à 85 m³ de matériau par filtre. Au total, sur l'ensemble des ouvrages, cette perte représente 1 300 m³, soit 13 % de la quantité totale initiale de biostyrène. Ces pertes ont essentiellement lieu durant le lavage. En effet, les lavages effectués à contre-courant (par courant descendant) emportent avec les eaux sales une petite quantité de matériau ; le matériau situé en bas du massif filtrant étant plus fortement colonisé par la biomasse. Cet excédent de biomasse, en augmentant la masse volumique apparente de la bille de polystyrène, favorise la fuite de matériau lors de la mise en expansion du massif filtrant.

État du média filtrant

Cas des Biofor®. L'état des grains de biolite a été étudié sur 4 filtres utilisés pour le

traitement du carbone et 4 filtres en dénitrification tertiaire. Sur chacun de ces filtres, deux séries de deux prélèvements ont été effectués, 2 en surface au niveau du dernier mètre de matériau, formant un échantillon moyen « niveau haut » et 2 dans la couche profonde, au niveau du 1er mètre de matériau, formant un échantillon moyen « niveau bas ». Sur ces deux échantillons, des analyses de granulométrie, de densité et de friabilité ont été effectuées. Les résultats obtenus sur les 8 cellules étant identiques, seuls ceux de deux filtres sont présentés (tableau 3).

L'évolution de la granulométrie de la biolite a été suivie par la mesure de la taille effective des grains, c'est-à-dire la taille correspondant à 10 % du poids passant (Mémento technique de l'eau, 2005). Sur les différents échantillons, la taille effective est comprise entre 3,5 et 3,8 mm avec très logiquement, une augmentation en fonction de la profondeur, les couches les plus profondes contenant les grains de plus gros diamètre. Ces valeurs restent comprises dans la fourchette définie pour la biolite neuve. Cette bonne tenue du matériau est confirmée par le coefficient d'uniformité. Ce coefficient, rapport entre les tailles à 60 % et 10 % de poids passant, est compris entre 1,3 et 1,4, et reste inférieur au seuil de 1,5. Afin de connaître le comportement de la biolite dans l'optique d'une réutilisation, la résistance du matériau a été éva-

luée par des tests de friabilité et de perte à l'acide. Les tests de friabilité à 750 et 1500 coups ont montré que la quasi-totalité du matériau restait utilisable après broyage ; la part de matériau non utilisable ne dépassant pas 1 % dans le cas du test le plus contraignant à 1500 coups (tableau 3). De la même manière, le poids de la biolite n'est que peu modifié en présence d'acide. En effet, le contact de la biolite avec une solution d'acide chlorhydrique pendant 24 h n'a induit qu'une diminution de 0,5 à 0,7 % du poids de la biolite ; la valeur limite donnée par le constructeur étant 7 %. Par ailleurs, on constate que logiquement la densité des grains reste comprise entre 0,85 et 0,87 g/ml, c'est-à-dire dans la tranche haute des valeurs admises pour la biolite neuve (de 0,75 à 0,90 g/ml) et

En conclusion, le média filtrant ne se dégrade pas de manière significative sur 10 années d'exploitation, seul un apport de matériau est nécessaire. On constate même que les caractéristiques tendent à s'améliorer du fait de la perte des fractions de biolite les plus limites au regard des spécifications. Par ailleurs, l'absence des fractions les plus fines dans le massif filtrant, propre à colmater les orifices d'aération, confirme que l'utilité des oxazur® est discutable dans le cas de cette usine.

Cas des Biostyr®. L'état du média filtrant a été étudié sur l'ensemble des 29 cellules Biostyr® de l'usine Seine Centre. Sur chacune, 30 prélèvements ont été effectués afin de composer un échantillon moyen. Les prélèvements ont été effectués à 5 emplacements dans le plan horizontal de la cellule avec pour chaque emplacement, 6 prélèvements dans le plan vertical. L'évolution de la granulométrie du biostyrène a été suivie par la mesure du diamètre moyen, c'est-à-dire la taille correspon-

Tableau 4 : Caractéristiques physiques moyennes (n = 29) des échantillons de biostyrène prélevés sur les cellules Biostyr® de la station Seine Centre comparées aux valeurs d'origine et aux spécifications constructeur

	Valeurs moyennes mesurées	Valeurs d'origine	Spécifications constructeur*
Taille effective (mm)	2,86	3,06	> 2,90
Diamètre moyen (mm)	3,23	3,45	3,60 ± 0,2
Coefficient d'uniformité	1,15	1,16	< 1,25
Masse volumique apparente (g/l)	61,1	47,8	50 ± 5

* Spécifications constructeur appliquées au média filtrant de type biostyrène du site Seine Centre.

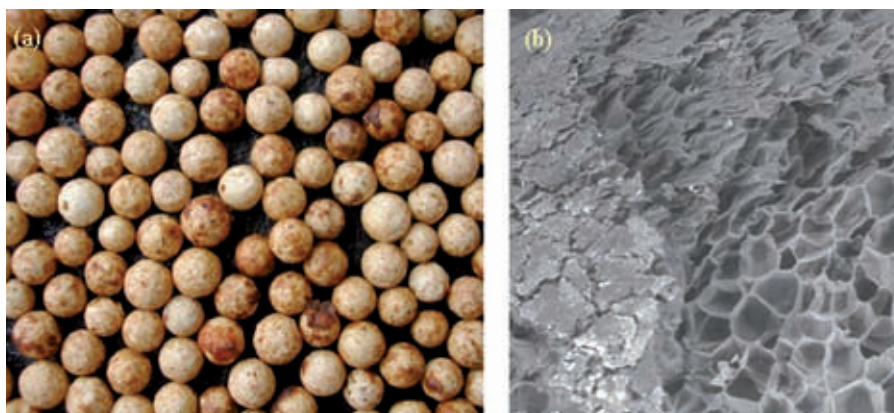


Figure 6 : Examen des billes de polystyrène d'une cellule Biostyr® de la station Seine Centre à l'échelle (a) macroscopique et (b) microscopique (grossissement 250 fois).

nant à 50 % du poids passant, et de la taille effective des grains, c'est-à-dire la taille correspondant à 10 % du poids passant. Le diamètre moyen et la taille effective des billes ont diminué depuis 1998 pour atteindre des valeurs moyennes respectives de 3,23 et 2,86 mm, soit une diminution de l'ordre de 6 % par rapport à la taille d'origine. La conséquence de ce tassement est une augmentation de la masse volumique. Cette dernière a augmenté de 48 à 61 g/l, déclassant le média par rapport aux spécifications établies par le constructeur (50 g/l). Cette augmentation de la densité est la conséquence probable du frottement des billes entre elles et de leur compaction lors des cycles de fonctionnement. Les résultats montrent, par ailleurs, que les billes présentent un bon coefficient d'uniformité, sensiblement identique à celui d'origine ; ces derniers étant respectivement de 1,16 et 1,15 avant et après exploitation.

En complément de la caractérisation physique des billes, des examens macroscopique et microscopique ont été effectués. Les photographies attestent du bon aspect général des billes (figure 6).

La facetisation est légère et la majorité des billes conserve un aspect sphérique acceptable (figure 6a). L'analyse microscopique ne montre aucune dégradation majeure du matériau filtrant (figure 6b).

Néanmoins, les billes présentent une croûte superficielle dure d'une épaisseur moyenne de 200 µm. C'est la présence de cette croûte qui explique l'augmentation de la densité apparente des billes et la légère diminution de leur taille. L'apparition de cette croûte, inexistante à l'origine et constituée principalement de polystyrène compacté, est principalement liée à un phénomène de matage. En effet, du fait de la différence de pression entre l'extérieur et l'intérieur des billes, les microcellules de la surface sont comprimées et forment cette couche plus

dense. Les craquelures de la croûte superficielle sont, quant à elles, provoquées par le séchage rapide et accéléré des billes lors de l'observation microscopique (Microscopie Environnementale). Cependant, la structure cellulaire interne des billes n'est pas altérée. Sous cette croûte, les microcellules spécifiques au polystyrène expansé sont intactes. Cette dernière caractéristique, combinée à une compaction homogène de la couche externe des billes, explique le maintien de leur bonne sphéricité. Afin d'entériner le bon maintien des billes de polystyrène et la possibilité de les réutiliser, des tests de vieillissement accéléré ont été effectués. Ces tests permettent d'évaluer le taux de compression des billes et donc, indirectement, d'évaluer le comportement du matériau support dans le temps. Chaque échantillon prélevé a subi des tests de compression permettant de simuler un fonctionnement durant 5 années supplémentaires, avec des cycles de filtration de 30 à 40 heures.

L'évolution du taux de compression

des billes montre trois zones distinctes (figure 7). Dans la première zone (Zone A, de 0 à 100 compressions), l'évolution du pourcentage est principalement liée à un arrangement des billes de l'échantillon, cette zone n'est donc pas représentative du comportement futur des billes. La deuxième zone (Zone B, de 100 à 550 compressions) montre une stabilisation de la compression.

Enfin, la troisième zone (Zone C, de 550 à 1000 compressions) montre un point d'inflexion et une légère augmentation du taux de compression, probablement lié à la compression des couches plus profondes des billes. Ainsi, le taux de compression global retenu (ΔH_{global}) est de 3,3 % (Zone B et C). Ces résultats montrent que l'impact des cycles de filtration reste faible sur les billes de polystyrène. Leur densification a atteint un palier et elle n'évoluera que très faiblement au cours des prochaines années. De même que pour les filtres de type Biofor®, seul un appoint en matériau est donc nécessaire.

Conclusion

L'état général des ouvrages de biofiltration de la station Seine Centre (Colombes, 800 000 équivalents habitants) a été examiné.

Pour ce faire, les biofiltres de type Biofor® et Biostyr® ont été vidés et expertisés, tant d'un point de vue équipement et média filtrant que d'un point de vue génie civil. Cet examen approfondi de l'ensemble des

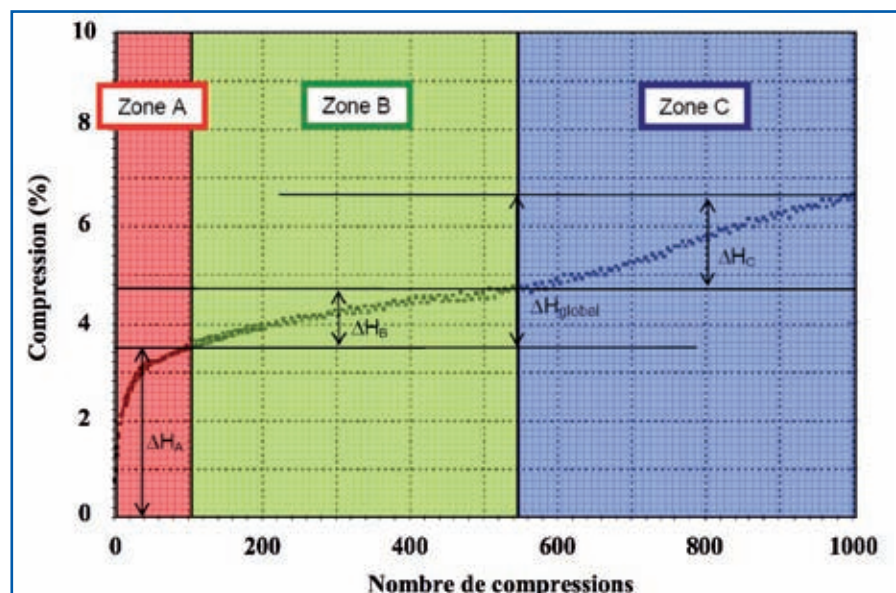


Figure 7 : Évolution du taux de compression (%) des billes d'une cellule Biostyr® lors des tests de vieillissement accéléré.

organes des cellules a permis d'apprécier le comportement des ouvrages après plus de 10 années d'exploitation.

Globalement, les biofiltres fonctionnent de manière très satisfaisante et permettent de maintenir des rendements d'élimi-

nation en adéquation avec les contraintes environnementales et réglementaires. Les expertises ont montré qu'avec des modifications mineures de certains équipements, dès la conception, et un mode de conduite adapté, les interventions de

maintenance pouvaient être réduites à un simple appoint en média filtrant. Quelques questions ont pu être soulevées quant à l'utilité de certains équipements dans des conditions de fonctionnement de la station Seine Centre. ■

Références bibliographiques

- Azimi S., Rocher V., Paffoni C., Goncalves A. et Gousailles M. (2010). Dynamique de la colonisation du massif filtrant d'une unité de dénitrification des eaux usées par biofiltration. La Houille Blanche, n° 1, 7 pages.
- Crites R. et Tchobanoglous G. (1998). Small and decentralized wastewater management systems. Mc Graw - Hill, New-York.
- Martin G. (1979). Le problème de l'azote dans les eaux. Technique et Documentation, 279 pages.
- Mémento technique de l'eau (2005). Dixième édition Degrémont, 1718 pages.
- Metcalf et Eddy I. (2003). Waste water engineering: treatment and reuse. 4^{ème} édition, révisé par G. Tchobanoglous, Burton, F. L. et Stensel H. D. Mc Graw Hill.
- Paffoni C. et Payraudeau M. (1998). Le prototype Biostyr® : bilan des essais. Techniques Sciences et Méthodes, 3, 19-28.
- Payraudeau M., Paffoni C. et Gousailles M. (2000). Tertiary nitrification in an up-flow biofilter on floating

- media: influence of temperature and COD load. Water Science and Technology, 41, 21-27.
- Rocher V., Azimi S., Paffoni C., Goncalves A. et Legaigneur V. (2009). Exploitation des unités de biofiltration des eaux résiduaires urbaines. Gestion des périodes d'arrêt. L'Eau, l'Industrie, les Nuisances, n° 325, 59-67.
 - Rocher V., Gasperi J., Azimi S., Gilbert S. et Paffoni C. (2010a). Comportement des substances prioritaires sur les ouvrages de traitement des eaux usées : cas de la décantation lamellaire et de la biofiltration. Techniques Sciences et Méthodes, A paraître.
 - Rocher V., Paffoni C., Goncalves A., Azimi S. et Briand C. (2010b). Conditions d'apparition des nitrites lors de la dénitrification des eaux usées par biofiltration. 1. Importance de la charge appliquée en azote. L'Eau, l'Industrie, les Nuisances, A paraître.
 - Rocher V., Azimi S., Paffoni C., Goncalves A. et Legaigneur V. (2010c). Exploitation des unités de biofiltration des eaux résiduaires urbaines. Gestion

- des périodes de redémarrage. L'Eau, l'Industrie, les Nuisances, n° 333, 104-114.
- Rocher V., Paffoni C., Goncalves A., Azimi S. et Gousailles M. (2008). La biofiltration des eaux résiduaires urbaines : retour d'expérience du SIAAP. La Revue des Sciences de l'Eau, 21, 475-485.
 - Rocher V., Paffoni C., Goncalves A., Azimi S., Winant S., Legaigneur V. et Gousailles M. (2007). La biofiltration des eaux usées : comparatif technique et économique de différentes configurations de traitement. La Houille Blanche, 1, 95-102.
 - Rocher V., Paffoni C., Goncalves A., Legaigneur V., Dutot A. et Gousailles M. (2006). Le traitement des eaux usées par biofiltration : cas de la station Seine Centre (SIAAP). Techniques Sciences et Méthodes, 10, 105-125.
 - Samie G., Lessard P. et Rocher V. (2010). Simulation du comportement d'unités de biofiltration des eaux usées. Techniques Sciences et Méthodes, Soumis, 16 pages.

Organisé par le Comité Français Géosynthétiques avec le support ifgs

8^e Rencontres Géosynthétiques 2011

Colloque francophone

22-24 mars 2011

Tours, France

Géotextiles
Géomembranes
Produits apparentés

Etat de l'art - Présentation de cas concrets d'utilisation :
Routes, tunnels installations de stockage de déchets, bassins...Exposition technique

Le colloque réunira des ingénieurs et des techniciens proches du terrain : maîtres d'œuvre, entrepreneurs, producteurs, distributeurs, laboratoires et bureaux d'études, afin qu'ils échangent leur expérience en matière d'application des géosynthétiques (géotextiles, géomembranes et produits apparentés) sur des cas concrets en faisant part de leurs succès mais également de leurs difficultés.

Venez mettre à jour vos connaissances : chercheurs, ingénieurs experts et hommes de terrain y présenteront leurs tous derniers résultats et leurs expériences récentes.

Les exposants vous présenteront les derniers produits géosynthétiques disponibles sur le marché : géotextiles, géomembranes, produits de drainage, de renforcement, produits anti-érosion, géosynthétiques bentonitiques, matériels de soudure, etc., ainsi que le savoir-faire des entreprises et des laboratoires.

Découvrez le programme final sans plus attendre sur le site, qui comporte en option une pré-formation le mardi 22 mars après-midi permettant aux débutants de se mettre à niveau pour tirer le meilleur parti des conférences du colloque les 23 et 24 mars.

Programme et bulletin d'inscription sur <http://www.rencontresgeosynthetiques.org>

Lieu : Tours - Centre International de Congrès

Les droits d'inscription pour les participants comprennent :

La pré-formation du mardi 22 mars après-midi, les conférences, l'accès à l'exposition, les actes, les déjeuners, ainsi que la soirée de gala.

Prix d'inscription avant le 30 janvier 2011 : 600,00 € HT - 716,60 € TTC

Prix d'inscription après le 30 janvier 2011 : 700,00 € HT - 837,20 € TTC

Tarif étudiant : 300 € HT - 358,80 € TTC (sur justificatif)

Secrétariat des Rencontres Géosynthétiques

Séverine BEAUNIER - Tél. : 01 44 58 28 07 - Fax : 01 44 58 28 73 - severine.beaunier@enpc.fr