

Filtres plantés de roseaux à flux vertical et lagunage naturel en traitement d'eaux usées domestiques en France :

comparaison des performances et des contraintes d'exploitation en termes de pérennité et fiabilité

Alain Liénard ^a, Catherine Boutin ^b, Pascal Molle ^a, Yvan Racault ^c, François Brissaud ^d et Bernadette Picot ^d

En France, le lagunage naturel et les filtres plantés de roseaux à écoulement vertical (FPRV) ne connaissent pas aujourd'hui le même stade de développement. On estime en effet que le nombre de lagunages naturels est compris entre 2 500 et 3 000 installations, soit approximativement 10 fois plus que

les stations de type FPRV. Ce déséquilibre est dû à l'adaptation relativement récente des FPRV, qui ne sont apparus qu'au cours des années 1990, malgré une croissance rapide. Ces deux techniques sont réputées bien adaptées pour traiter les eaux usées de beaucoup de petites collectivités rurales françaises, en raison principalement de la

▼ Tableau 1 – Caractéristiques principales (différences et similarités) des FPRV et du lagunage naturel en alimentation gravitaire.

	Lagunage naturel	FPRV
Consommation d'énergie	Non	Non
Type de traitement	Cultures libres	Cultures fixées sur supports fins
Brève description et dimensionnement usuel	1 ^{re} lagune : facultative (6 m ² .EH ⁻¹) 2 ^e et 3 ^e : de maturation (2,5 + 2,5 m ² .EH ⁻¹)	1 ^{er} étage : 3 filtres en parallèle (total : 1,2-1,5 m ² .EH ⁻¹) 2 ^e étage : 2 ou 3 filtres en parallèle (total : 0,8-1,0 m ² .EH ⁻¹)
Emprise pour 400EH	6 000 m ²	2 600 m ²
Type de réseau d'assainissement	Unitaire ou très partiellement séparatif	Séparatif ou partiellement unitaire
Objectifs de traitement (circulaire du 17/02/1997)	60 % DCO et 60 % NK	25 mg.l ⁻¹ DBO ₅ et 125 mg.l ⁻¹ DCO
Conception et construction	Relativement simple	Relativement complexe
Différence de hauteur nécessaire pour alim. gravitaire	1 m	minimum 4 m (dépend de la taille)
Fourchette d'utilisation Équivalent Habitant (EH)	200 EH à 2 000 EH (quelques-uns très grands dans des zones touristiques estivales)	50 EH à 2 000 EH (quelques-uns plus grands, 3 500 EH maximum)
Intégration paysagère	Bonne	Bonne

Les contacts

a. Cemagref, UR Qualité des eaux et prévention des pollutions, 3 bis Quai Chauveau, CP 220, 69336 Lyon Cedex 9

b. Cemagref, chargée de mission « Épuration des eaux usées », mission appui technique (CGGREF), 140 bis rue de Rennes, 75005 Paris

c. Cemagref, UR Réseaux, épuration et qualité des eaux, 50 avenue de Verdun, Gazinet,

33612 Cestas Cedex
d. Hydrosociences, MSE, Université Montpellier 2, 34095 Montpellier Cedex 5

simplicité de leurs contraintes d'exploitation. Ceci est particulièrement le cas quand la topographie permet une alimentation gravitaire. Un personnel municipal motivé mais sans compétence particulière en électromécanique peut alors assurer le suivi et l'entretien qui conviennent.

Cet article s'intéresse à la comparaison des contraintes propres à chacun des procédés et explique en quoi les contraintes d'exploitation régulière et épisodique sont importantes pour obtenir d'eux des performances optimales.

Comparaison des processus de fonctionnement et performances

À partir des tableaux 2 et 3, on peut voir que les performances des deux procédés satisfont et souvent excèdent les objectifs de traitement de la « Circulaire du 17 février 1997 » pour lesquels ils ont été conçus et rappelés dans le tableau 1.

Lagunage naturel

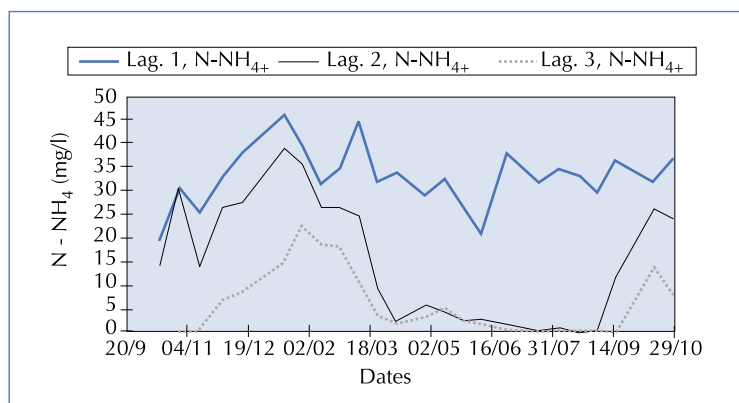
Le tableau 2 révèle que les résultats moyens sont bien dans les limites exigées même si les écarts-types sont considérables, principalement

en raison de l'influence des conditions météorologiques saisonnières sur le traitement. C'est particulièrement le cas pour les nutriments dont l'abatement est fortement corrélé à la croissance du phytoplancton qui est évidemment supérieure en été. La figure 1 montre clairement que les processus d'oxydation des composés azotés et leur assimilation sont beaucoup plus efficaces en été quand la température de l'eau est suffisamment élevée et que la photosynthèse algale opère pleinement, ce qui se traduit fréquemment par des pH, en période diurne, atteignant des valeurs supérieures à 9. Néanmoins, l'assimilation par la biomasse n'est pas le seul phénomène qui assure l'élimination des nutriments, même si elle est certainement prépondérante pour l'azote et le phosphore.

Des pertes d'ammoniac gazeux par volatilisation lors des pH élevés, la nitrification et, presque conjointement la dénitrification, ont aussi leur importance (Middlebrooks *et al.*, 1982). Cependant, il faut noter qu'en lagunage naturel, les concentrations en azote Kjeldahl représentent la quasi-totalité de l'azote car on trouve très peu de nitrates dans les bassins. La dénitrification se produit quasi simultanément en profondeur quand la teneur algale décroît en même temps que les concentrations en oxygène. Seule une faible part de l'azote organique, partie intégrante des matières en suspension qui sédimentent près de l'entrée, est peu dépendante des variations saisonnières.

Une enquête nationale a montré que la charge organique a peu d'influence en été quand les concentrations en sels ammoniacaux de l'effluent sont souvent inférieures à 15 mg.l⁻¹. Il s'agit d'une heureuse simultanéité en raison de la plus grande sensibilité des milieux récepteurs à ce paramètre en saison estivale (avril à septembre). En revanche, la charge organique est beaucoup

▼ Figure 1
– Évolution comparée de l'azote ammoniacal sur les 3 bassins de la lagune de St-Pierre-d'Aurillac (Racault *et al.*, 1996).



▼ Tableau 2 – Rendements et concentrations de l'effluent de lagunages naturels installés à l'aval de réseaux d'assainissement non séparatifs (Cemagref *et al.*, 1997).

	DCO		DCOf		MES		NK		PT	
	% Rend.	Sortie mg.l ⁻¹	% Rend.	Sortie mg.l ⁻¹	% Rend.	Sortie mg.l ⁻¹	% Rend.	Sortie mg.l ⁻¹	% Rend.	Sortie mg.l ⁻¹
Moyenne	78	141	86	85	79	54	72	19	66	7,5
Écart-type	16	69	9	37	20	41	23	11	24	6,0

Rendements en flux [(charge en entrée – charge en sortie)/charge en entrée].

DCOf = mesures réalisées sur échantillons filtrés.

plus influente sur la rétention des ions ammonium en hiver (Racault et al., 1995).

La figure 1, réalisée en lien avec une étude sur les dysfonctionnements de lagunes (Racault, 1993), présente des mesures de concentrations en sels ammoniacaux, à intervalles réguliers, dans chaque bassin d'un lagunage naturel. Elle confirme le comportement qui aboutit à une moindre réduction des ions ammonium en hiver. À cause de conditions anoxiques/anaérobies dans le 1^{er} bassin, l'oxydation des composés azotés réduits n'est pas aussi efficace qu'escomptée et ceci explique partiellement pourquoi les ions ammonium demeurent relativement stables dans ce bassin. Les bassins suivants améliorent sensiblement ce dysfonctionnement et la qualité de l'effluent est correcte en sortie finale.

Filtres plantés de roseaux à écoulement vertical (FPRV)

Le tableau 3 montre les résultats d'une enquête récente conduite avec l'aide du SATESE¹ (Molle et al., 2004). Excepté pour le phosphore, qui n'est pas retenu dans les massifs filtrants dont le matériau de garnissage est siliceux, toutes les concentrations moyennes présentées sont inférieures à celles des effluents sortant d'un lagunage naturel présentées dans le tableau 2.

Les sels ammoniacaux et l'azote organique sont bien oxydés dans les FPRV, cela signifie que de fortes concentrations de nitrates sont présentes dans l'effluent, particulièrement après passage sur les filtres du 2^e étage, également à écoulement vertical, et donc en conditions pleinement aérobies qui complètent la nitrification qui a déjà démarré sur les filtres du 1^{er} étage.

On peut seulement observer une certaine dénitrification dans le fond des filtres du 1^{er} étage

lorsque l'eau y est temporairement stockée pour le fonctionnement du siphon auto-amorçant alimentant par bâchées les filtres du 2^e étage. La dénitrification est initiée à ce niveau par le carbone organique résiduel qui reste dans la couche drainante des filtres du 1^{er} étage.

Cependant, la dénitrification n'est pas complète, comme le montrent les concentrations des différentes formes des composés azotés, enregistrées par Molle (2003), en sortie de chaque étage de traitement à la station de Colomieu et reportées dans le tableau 4 (page 90). Des échantillons moyens proportionnels aux débits ont été réalisés après 7 jours d'alimentation consécutifs des mêmes filtres (donc dans des conditions d'aération moins favorables qu'au 1^{er} jour suivant une période de repos) des 1^{er} et 2^e étages (*marqués 7^e : dans les conditions suivantes : charge hydraulique : 95 % ; charge organique : 110 %*). On voit qu'en sortie des filtres du 2^e étage, la nitrification est importante, et inversement, les composés azotés réduits (plus toxiques pour les milieux récepteurs) sont rejetés à faibles concentrations.

Un autre prélèvement, également réalisé au 7^e jour d'une autre semaine correspondant à une forte surcharge hydraulique (jusqu'à 350 %), met en évidence la réduction de nitrification qui se produit sur les filtres du 1^{er} étage qui ont une couche de dépôts superficiels d'environ 8 cm.

Ces dépôts limitent les vitesses d'infiltration de l'eau et les temps de dénoyage de la plage d'infiltration sont réduits, cela diminue d'autant les possibilités d'aération par diffusion d'air depuis l'atmosphère. Comme la nitrification est réduite, la dénitrification l'est également par manque de nitrates ; ce constat est comparable à des données déjà publiées en provenance de la station de Montromand (Boutin et al., 1996).

1. Le service d'assistance technique aux exploitants des stations d'épuration (SATESE) est un service départemental placé fréquemment sous l'autorité directe du Conseil général.

▼ Tableau 3 – Performances des filtres plantés de roseaux à écoulement vertical (48 stations âgées de 2,5 mois à un peu plus de 7 ans).

	DCO		DBO		MES		NK		PT	
	% Rend.	Sortie mg.l ⁻¹	% Rend.	Sortie mg.l ⁻¹	% Rend.	Sortie mg.l ⁻¹	% Rend.	Sortie mg.l ⁻¹	% Rend.	Sortie mg.l ⁻¹
Moyenne	88	88	94	17	94	16	82	13	30	7,9
Écart-type	16	50	8,3	25,5	9,3	27	20,5	17	89,3	6,9
(Nbre. Val.)	(108)	(122)	(106)	(119)	(109)	(122)	(108)	(120)	(109)	(118)

Charge hydraulique moyenne de 0,37.d⁻¹ (écart-type : 0,46 ; min. : 0,09 ; max. ; 2,91) et charge moyenne en DCO de 200 g.m⁻².d⁻¹ (écart-type : 234 ; min. : 17,3 ; max : 1 677) sur le filtre du 1^{er} étage en service.

► Tableau 4 – Suivi des concentrations en composés azotés à la station par FPRV de Colomieu, après 7 jours d'alimentation consécutifs en conditions de charges hydrauliques différentes.

Jour	Influent		Sortie 1 ^{er} étage de filtres		Sortie 2 ^e étage de filtres	
	7 ^e	7 ^{e*}	7 ^e	7 ^{e*}	7 ^e	7 ^{e*}
NK	75,60	29,10	17,90 (76 %)	19,90 (32 %)	0,72 (96 %)	3,5 (82 %)
N-NH ₄ ⁺	51,60	13,00	14,00	10,70	0,06	2,7
N-NO ₂ ⁻	0,07	0,02	0,81	0,13	0,05	0,13
N-NO ₃ ⁻	0,00	0,00	8,05	0,97	25,30	16,3
NGL	75,67	29,12	26,76 (65 %)	21,00 (28 %)	26,07 (2,5 %)	19,93 (5,1 %)

7^e (charge hydraulique normale), 7^{e*} (surcharge hydraulique jusqu'à 350 %) ; concentrations en mg.l⁻¹ et rendements (en %).

Même lors de ces fortes charges hydrauliques, les concentrations résiduelles en azote Kjeldahl et sels ammoniacaux restent faibles dans l'effluent en raison de la nitrification qui continue d'opérer dans les filtres du 2^e étage.

En dépit des valeurs d'écart-types rapportées dans les tableaux 2 et 3, calculés à partir d'un large échantillon de cas, la fiabilité des performances mérite d'être notée.

Pour le lagunage naturel, cela est principalement le résultat d'un long temps de séjour hydraulique, qui permet la mise en place d'une chaîne trophique déjà assez complexe et diversifiée d'un bassin à l'autre pour que s'y développent les processus de dégradation qui deviennent conjointement plus efficaces.

Pour les filtres plantés de roseaux à écoulement vertical, quand la station est correctement conçue et dimensionnée et que l'influent peut traverser les massifs filtrants, la qualité de l'effluent est bonne comme l'illustrent les tableaux précédents. Cela est le résultat d'une intense activité biologique probablement stimulée par une symbiose entre

les microorganismes et le système racinaire très développé des roseaux.

L'accumulation et la gestion des boues

Dans cette partie, nous proposons seulement une comparaison entre des volumes de boues produits par chacun des procédés, à partir d'un exemple de vidange des boues réalisé sur les filtres du 1^{er} étage de la station de Gensac la Pallue (Molle *et al.*, 2004) et d'une douzaine d'études de cas d'extraction de boues accumulées dans le premier bassin de lagunages naturels (tableau 5) (Racault *et al.*, 2004).

La valeur la plus importante est la teneur en matière sèche des boues qui est de 8,5 % de siccité pour le lagunage naturel et de 25 % pour les FPRV, qui résulte de processus conjoints d'accumulation et de minéralisation après un temps presque similaire.

En outre, même si la qualité de l'influent et les charges produites par habitant pour les deux

▼ Tableau 5 – Comparaison de la boue accumulée dans des filtres plantés de roseaux alimentés en eaux usées brutes et le 1^{er} bassin de lagunages naturels.

	Lagunage naturel	FPRV
Hauteur de boue à la vidange	25,5 cm	22,5 cm
Durée de fonctionnement/accumulation	Environ 13 ans	14 ans
Teneur en MS (% de MB)	12 échantillons de 0,8 % à 14,2 % Moyenne : 8,5 %	2 échantillons : 21,7 % et 28,4 % Moyenne : 25 %
Hauteur spécifique d'accumulation	Approx. 2,0 cm.an ⁻¹	Approx. 1,5 cm.an ⁻¹
Volume pris en compte dans le dimensionnement	Approx. 110 l.EH ⁻¹ .an ⁻¹	Approx. 20 l.EH ⁻¹ .an ⁻¹
Quantité spécifique de MS accumulée	Environ 12 kg.EH ⁻¹ .an ⁻¹	Environ 6 kg.EH ⁻¹ .an ⁻¹

procédés sont proches, les quantités de matière sèche dans le 1^{er} bassin d'un lagunage sont doubles de celles accumulées sur les filtres du 1^{er} étage de FPRV.

Les hypothèses suivantes peuvent expliquer une telle différence en termes de matière sèche (MS) accumulée :

- sur les filtres du 1^{er} étage des FPRV, comme cela est expliqué dans Molle *et al.* (2004), la fine couche de boues (de l'ordre de 3 mm après un simple ressuyage jusqu'à environ 10 % de MS) qui s'accumule chaque semaine est en contact direct pratiquement en permanence avec l'atmosphère, et de ce fait, la minéralisation aérobie peut démarrer rapidement. Elle peut ainsi permettre une réduction d'environ 60 %. En revanche, dans le fond du 1^{er} bassin de lagunage, des réactions de minéralisation essentiellement anaérobies se développent. Cependant, cette activité bactérienne se déroule dans un environnement saturé en eau qui ne doit pas favoriser les réactions de minéralisation en raison de la dilution des enzymes et autres sécrétions bactériennes. Pour une même charge appliquée que sur FPRV, la minéralisation des boues dans le 1^{er} bassin de lagunage n'atteint qu'environ 20 % ;

- l'« effet rhizosphère » est encore peu documenté, mais son influence positive sur les processus biologiques de minéralisation est possible. Dans la vingtaine de centimètres de dépôts, des recyclages multiples de matière organique se produisent au sein de la biomasse vivante et au cours des dix ans ou plus d'accumulation.

On peut aussi penser que la partie aérienne des roseaux est majoritairement produite à partir de ces dépôts en constante transformation. Cette fraction est faucardée chaque année, ce qui contribue sûrement à la limitation de l'accroissement des dépôts de boue. Il serait d'ailleurs intéressant de comparer la hauteur des dépôts et leurs principales caractéristiques chimiques de filtres non faucardés avec les observations réalisées jusqu'à maintenant sur des stations en fonctionnement et faucardées chaque année.

Les contraintes d'exploitation et d'entretien

Les tableaux 6, 7 et 8 présentent les principales instructions qu'un exploitant doit suivre pour obtenir les meilleures performances de traitement de chacun des procédés.

Les tâches d'exploitation et maintenance commentées ci-après sont réputées nécessaires pour obtenir un traitement optimal et atteindre de façon fiable et durable les performances attendues. En d'autres termes, ces tâches peuvent avoir une incidence directe sur le traitement si elles ne sont pas correctement réalisées. Évidemment, cela ne signifie pas qu'elles ont toutes le même impact sur le traitement, mais il convient de signaler qu'une simple absence régulière d'attention affectera inévitablement le fonctionnement d'une station à long terme.

Pour la gestion des boues applicables aux deux procédés, il faut noter qu'en plus d'une

Tâches communes aux deux procédés	<ul style="list-style-type: none"> – nettoyage du dégrilleur ; – fauchage de la végétation sur les digues et abords de la station ; – inspection générale des bassins/filtres et tenue du cahier d'exploitation.
Tâches spécifiques au lagunage naturel	<ul style="list-style-type: none"> – nettoyage du piège à graisses ; – extraction des boues de la surprofondeur ; – prévention des dégâts causés par les rongeurs ; – extraction des boues de l'ensemble du 1^{er} bassin.
Tâches spécifiques aux FPRV	<ul style="list-style-type: none"> – nettoyage des accumulations de graisses dans la bêche de stockage et le siphon ou la chasse à clapets pour l'alimentation des filtres du 1^{er} étage ; – manœuvre des vannes ; – inspection, nettoyage du système de distribution de l'influent sur les filtres des 1^{er} et 2^e étages ; – nettoyage des regards ; – faucardage et évacuation des réseaux ; – évacuation des boues sur les filtres du 1^{er} étage.

◀ Tableau 6 – Les différentes tâches d'entretien selon les procédés.

différence de fréquence, ce poste réclame des moyens matériels conséquents (tracto-pelle, tracteurs + remorques ou tonnes à lisier, etc.) et au moins 2 personnes simultanément pour être correctement mené à bien. Il faut aussi signaler que le temps nécessaire à l'épandage sur des terres agricoles alentour n'est pas inclus dans les tableaux (en d'autres termes, les boues sont dans les engins, à la porte de la station).

Tous les temps exprimés dans les tableaux correspondent à du temps effectif de travail sur la station indépendamment de temps d'accès ou de pauses/congés.

Les tâches communes aux deux procédés

LE NETTOYAGE DU DÉGRILLEUR

En tête de chaque station, un dégrillage doit être installé pour retenir les solides de grande dimension qui peuvent avoir, soit un effet pour le moins inesthétique (s'ils flottent en surface du 1^{er} bassin de lagunage), soit boucher le système d'alimentation et de distribution d'influent (siphon auto-amorçant et réseau de distribution pour les FPRV). Quand l'entrefer est correctement espacé (environ 4 cm), un nettoyage hebdomadaire est suffisant la plupart du temps. Par temps chaud, un nettoyage plus fréquent est nécessaire pour éviter le dégagement de mauvaises odeurs, spécialement sur des installations soumises à des afflux touristiques. Les refus de dégrillage doivent être évacués par le circuit des ordures ménagères.

LE FAUCHAGE DE LA VÉGÉTATION SUR LES DIGUES ET ABORDS DE LA STATION

Pour un lagunage, il est recommandé que la crête des digues soit large d'au moins 4 m pour l'accès de tracteurs et divers équipements tels que broyeurs et tonnes à lisier. Couper l'herbe 3 à 5 fois par an représente un travail considérable quand on prend en compte non seulement la crête des digues, mais aussi la pente la reliant à l'eau qui est habituellement de 1 pour 2,5. Pour des lagunages de grande taille, ce travail doit être réalisé avec des outils de type agricole à grande largeur de coupe plutôt que des outils de jardin telles les tondeuses et débroussailleuses.

En revanche, ces derniers sont plus adaptés à l'entretien des abords immédiats des FPRV pour lesquels les digues sont plus étroites et quelquefois même inexistantes entre 2 filtres contigus séparés par une simple cloison à chaque étage.

L'INSPECTION GÉNÉRALE DES BASSINS/FILTRES ET LA TENUE DU CAHIER D'EXPLOITATION.

Un cahier d'exploitation où sont consignées des observations telles que date, heure, conditions météorologiques et opération d'entretien/maintenance des prétraitements est d'une grande importance « pour suivre la vie de la station au cours du temps ». Ce cahier permet aussi de comptabiliser le temps d'exploitation annuel, la durée de vie de certains équipements ou des prestations régulières indispensables, pour en prévoir la programmation et l'inscrire préventivement au budget.

Des rubriques spécifiques à chacun des procédés doivent y être inscrites.

Pour le lagunage naturel :

- les niveaux d'eau dans les bassins (baisses éventuelles) doivent être notés et les ouvrages de communication entre les bassins inspectés et nettoyés si nécessaire ;
- état des digues (érosion, dommages dus aux rongeurs...) et réparés ;
- couleur de l'eau, qui doit normalement être verte (un changement de couleur peut être indicatif de l'apparition de nouvelles espèces de micro-organismes avant un éventuel dysfonctionnement) ;
- odeurs nauséabondes révélatrices d'une possible surcharge ;
- présence de canards, qui peuvent être un moyen écologique de contrôler le développement des lentilles d'eau.

Pour les FPRV :

- fonctionnement du siphon auto-amorçant et des vannes. Certaines parties comme les flexibles doivent être changées régulièrement et les pièces de rechange immédiatement disponibles ;
- distribution régulière et complète sur la totalité du filtre en service à chaque étage à relier à l'entretien du réseau de distribution et son recalage si nécessaire ;
- hauteur des dépôts sur les filtres du 1^{er} étage. Une différence significative indiquera une distribution inadéquate de l'influent ;
- développement des roseaux, infestation par des plantes parasites indésirables. Après une année, le développement des roseaux est généralement homogène et dense. Toute différence significative

peut aussi révéler une distribution non satisfaisante de l'influent, particulièrement sur les filtres du 2^e étage qui n'ont pas ou très peu de dépôts et où les capacités de rétention d'eau dans le sable et les graviers peuvent être faibles en été si les granulométries en place sont correctes ;

– des tests de nitrates et d'ions ammoniums à l'aide de bandelettes réactives à la fin d'une période d'alimentation. Les FPRV en fonctionnement optimum produisent des nitrates et toute baisse concomitante des nitrates avec une augmentation des ions ammonium reflète un manque d'oxygène, qui peut indiquer une surcharge passagère ou un problème plus grave dans un avenir proche.

Les tâches spécifiques au lagunage naturel

LE NETTOYAGE DU PIÈGE À GRAISSES

À l'entrée du 1^{er} bassin, un simple piège à graisses réalisé avec une cloison siphonée est souvent installé pour retenir les substances flottantes, graisses et/ou débris. Ce piège à graisses est en général installé au-dessus de la surprofondeur, également installée en tête de la 1^{re} lagune (voir ci-dessous).

L'EXTRACTION DES BOUES DE LA SURPROFONDEUR

Une conception correcte et actualisée du lagunage naturel en France doit prévoir une surprofondeur en tête du 1^{er} bassin de lagunage (Cemagref et al., 1997). Son rôle est de faciliter l'extraction régulière des boues primaires qui s'accumulent sous forme d'un cône de sédimentation près de l'entrée de l'ouvrage. Cette zone peut occuper quelques dizaines de m² pour les petits lagunages et environ 0,5 % de la surface du 1^{er} bassin pour les plus grands. Elle doit être accessible avec une tonne à lisier pour une évacuation aisée et annuelle des boues qui ne mette pas en danger l'étanchéité de l'ouvrage. La profondeur maximale recommandée est de l'ordre de 2 m.

LA PRÉVENTION DES DÉGÂTS CAUSÉS PAR LES RONGEURS

Si des ragondins ou rats musqués prolifèrent, des détériorations de digues peuvent rapidement s'en suivre. La présence de terriers est un signe. Il convient donc de suivre régulièrement la situation ; et si nécessaire, d'installer des pièges ou contacter l'association des chasseurs.

L'EXTRACTION DES BOUES DE L'ENSEMBLE DU 1^{ER} BASSIN

Après environ 13 ans de fonctionnement dans les conditions de charges organiques prévalant en France, la vidange complète des boues du 1^{er} bassin peut devenir nécessaire. La décision de procéder à un tel curage doit s'appuyer sur un diagnostic de la boue accumulée. Des sondages bathymétriques permettant de cartographier les dépôts sont généralement réalisés par le SATESE. Après avoir court-circuité le 1^{er} bassin et dévié le flux d'eau usée directement vers le second, l'extraction de la boue peut commencer. À partir d'un questionnaire envoyé à quelques SATESE ayant une expérience dans ce domaine (Racault et al., 2004), il apparaît que les deux méthodes préférées sont les suivantes :

– pompage de l'eau surnageante dans les autres bassins et poussage (avec un engin équipé de chenilles larges pour éviter d'endommager l'étanchéité) de la boue ainsi pré-épaissie vers un endroit (éventuellement la surprofondeur mentionnée ci-dessus) d'où elle peut être extraite par des tonnes à lisier ;

– pompage direct de la boue à partir d'une plateforme flottante qui se positionne aux endroits où les dépôts sont les plus importants. Un réseau de canalisation évacue cette boue directement vers les tonnes à lisier.

La boue extraite peut être épandue sur terrains agricoles si sa qualité est compatible avec les exigences requises par le plan d'épandage.

En comparant les tableaux 7 et 8, on note que le temps total annuel d'exploitation est approximativement le même pour des installations de petites tailles. Pour des tailles plus importantes, la différence s'accroît et devient plus importante pour les FPRV. Cela est essentiellement dû à la recommandation du faucardage annuel des roseaux qui représente environ 40 % du temps total annuel pour une station de 1 000 EH, au lieu de 30 % pour une station de 400 EH. Le temps nécessaire à cette tâche ne peut pas être aisément réduit car le type d'équipement utilisé est le même (débroussailluse équipée d'une barre taille-haie, par exemple) et le travail est essentiellement manuel.

En revanche, le fauchage de la végétation sur les digues d'un lagunage naturel, qui occupe aussi une place importante dans le temps d'exploitation total, peut être effectué avec des équipements de type agricole dont la productivité peut être plus élevée en fonction de la taille des engins adaptés aux surfaces à couper.

Liste des tâches	Fréquence	400 EH		1 000 EH	
		Durée de chaque opération	Total par an (heures)	Durée de chaque opération	Total par an (heures)
Prétraitement : Nettoyage du dégrilleur et du piège à graisses	1/semaine	20 mn	17	25 mn	22
Inspection générale des bassins	1/semaine	15 mn	13	20 mn	17
Tenue du cahier d'exploitation	1/semaine	10 mn	9	10 mn	9
Fauchage de l'herbe sur les digues et les bords des bassins avec des outils de type agricole	3-5/an	4 h	24	8 h	48
Inspection et nettoyage des réseaux de distribution sur les filtres des 1 ^{er} et 2 ^e étages	2/an	8-13 h	40	11-18 h	55
Lutte contre les rongeurs	Toute l'année	4 h	4	6 h	6
Extraction des boues de la surprofondeur à l'entrée du 1 ^{er} bassin	1/an	8 h	8	13 h	13
Extraction des boues sur l'ensemble du 1 ^{er} bassin	1/13 ans	12 jours	7	20 jours	12
Total annuel (heures)			98		134

Nota : le temps nécessaire à la récolte des lentilles d'eau, si les lagunes en sont infestées, n'est pas pris en compte.

▲ Tableau 7
– Principales opérations et temps minimum à consacrer à l'exploitation des lagunages naturels.

Les tâches spécifiques aux FPRV

LE NETTOYAGE DES ACCUMULATIONS DE GRAISSES

Les graisses sont généralement retenues et s'accumulent dans la bêche de stockage dans laquelle est installé le siphon auto-amorçant ou une chasse à clapet en tête de station. Un nettoyage régulier avec un jet d'eau claire sous pression suffit pour éviter la formation de blocs de graisses figées qui pourraient boucher les tubes du siphon ou gêner la fermeture du clapet. Avec l'expérience, les concepteurs des siphons ont progressivement augmenté le diamètre de ces tubes pour obtenir un fonctionnement plus fiable en minimisant la fréquence de nettoyage qu'il convient donc d'adapter en fonction de l'équipement en place. Les graisses envoyées sur les filtres du 1^{er} étage peuvent minéraliser conjointement avec les matières en suspension organiques.

LA MANŒUVRE DES VANNES

La mise en service successive de chacun des 3 filtres du 1^{er} étage est absolument fondamentale pour créer une alternance de périodes d'alimentation et de repos. Ces dernières, ayant en général une durée double de celles d'alimentation, sont nécessaires pour :

- contrôler la croissance de la biomasse épuraire dans les matériaux de garnissage minéraux des massifs filtrants (gravillons au 1^{er} étage, sable + gravillons sur les filtres du 2^e étage) ainsi que les rhizomes et racines des roseaux ;
- minéraliser les dépôts organiques, apportés par les matières en suspension contenues dans les eaux usées brutes, qui s'accumulent en surface des filtres du 1^{er} étage ;
- maintenir des conditions de fonctionnement aérobies.

L'INSPECTION ET LE NETTOYAGE DU SYSTÈME DE DISTRIBUTION DE L'INFLUENT SUR LES FILTRES DES 1^{ER} ET 2^E ÉTAGES

Une répartition équitable de l'eau usée est nécessaire pour éviter le colmatage de zones surchargées ou des courts-circuits causés par l'absence de biomasse épuraire et de roseaux dans des zones trop sous-chargées. La conception et le dimensionnement du siphon net du réseau de distribution doivent permettre d'utiliser au maximum la surface utile des filtres et éviter l'accumulation de dépôts au voisinage immédiat des points de distribution sur les filtres du 1^{er} étage. Un nettoyage épisodique est nécessaire. C'est tout particulièrement le cas après le faucardage

Liste des tâches	Fréquence	400 EH		1 000 EH	
		Durée de chaque opération	Total par an (heures)	Durée de chaque opération	Total par an (heures)
Manœuvre des vannes, contrôle des siphons	2/semaine	5 mn	9	5 mn	9
Nettoyage du dégrilleur	1/semaine	10 mn	9	10 mn	9
Inspection générale des filtres et contrôle des mauvaises herbes	1/semaine	10 mn	9	15 mn	13
Tenue du cahier d'exploitation (nombre de bâchées, test NO ₃ ⁻ et NH ₄ ⁺ , ...)	1/semaine	15 mn	13	20 mn	18
Tonte de l'herbe sur les digues et les abords de la station avec des outils de jardinage	6/an	4 h	24	8 h	48
Inspection et nettoyage des réseaux de distribution sur les filtres des 1 ^{er} et 2 ^e étages	2/an	2 h	4	3 h	6
Nettoyage des regards de collecte, des siphons bâchées de stockage temporaire des eaux	2/an	1 h	2	1,5 h	3
Faucardage et évacuation des roseaux	1/an	30 h	30	80 h	80
Extraction des boues sur les filtres du 1 ^{er} étage*	1/10 ans	30 h	3	60 h	6
Total annuel (heures)			103		192

◀ Tableau 8 – Principales opérations et temps minimum à consacrer à l'exploitation des filtres plantés de roseaux à écoulement vertical.

* Ces temps relativement courts pour la vidange des boues résultent de l'expérience acquise à la station de Gensac la Pallue où la topographie est plate et l'espace entre chaque filtre abondant, ce qui permet des manœuvres aisées du tracto-pelle et du tracteur et de sa remorque. De plus, les boues extraites étaient déposées à proximité immédiate. Ces temps seraient nécessairement revus à la hausse en cas d'accessibilité moins aisée sur terrains en pente et disposition des bassins en terrasses, par exemple. Ces préoccupations doivent être intégrées à la réflexion dès la conception des ouvrages. Sur les dernières installations, le dispositif de distribution des effluents peut être démonté avant vidange pour rendre l'accès à toute la surface des filtres plus aisé.

des roseaux quand des débris végétaux sont susceptibles de boucher des trous du réseau de distribution.

LE NETTOYAGE DES REGARDS

La couche drainante des filtres est réalisée avec des galets dans lesquels le réseau de drains (diamètre minimum 100 mm) est installé. Ces drains sont connectés à un regard de collecte qui peut être commun à plusieurs filtres contigus. À la sortie des filtres du 1^{er} étage, le siphon qui va assurer l'alimentation par bâchées des filtres du 2^e étage est placé dans un tel regard. Des matières s'y accumulent (résultant partiellement

de la dégradation de la biomasse épuratoire, mais surtout de végétation quand les couvercles sont ouverts), elles doivent être évacuées lors des opérations de nettoyage des réseaux de distribution.

LE FAUCARDAGE ET L'ÉVACUATION DES ROSEAUX

Chaque année au commencement de l'hiver, la partie flétrie des roseaux est coupée et évacuée des filtres des 2 étages. Cette opération est plus importante pour les filtres du 1^{er} étage car elle limite la croissance des dépôts (environ 15 mm par an) qui sont essentiellement dus aux matières en suspension apportées par les eaux usées brutes.

Sur les filtres du 2^e étage, c'est l'occasion de vérifier que les trous du réseau de distribution ne sont pas bouchés et de les nettoyer si nécessaire. Dans les régions froides, même si la coupe des végétaux est plus aisée avant qu'ils ne versent, la litière peut être laissée en place pour assurer une sorte d'isolation de la surface des filtres et du réseau de distribution. On procèdera à l'enlèvement de la partie résiduelle et à la vérification du réseau au printemps suivant, mais suffisamment tôt pour ne pas endommager les jeunes pousses de roseaux qui émergent du matériau filtrant ou des boues. À l'inverse du faucardage des macrophytes dans des lagunes, l'opération est ici relativement aisée, car réalisée à « pieds secs ».

L'ÉVACUATION DES BOUES SUR LES FILTRES DU 1^{ER} ÉTAGE

À partir de l'expérience acquise à Gensac la Pallue (Molle *et al.*, 2004), il a été estimé que la croissance moyenne du dépôt de boues est d'environ 15 mm par an dans les conditions d'alimentation de cette station. Si le dimensionnement des filtres est correct au regard des charges attendues aux plans hydraulique et organique, l'enlèvement des boues n'est pas nécessaire avant au moins une dizaine d'années à la charge nominale. Il doit donc être prévu une hauteur de revanche suffisante entre la surface des filtres et les arrivées du réseau de distribution pour satisfaire conjointement la croissance du dépôt de boues pendant le flaquage de l'influent lors des pics de charges hydrauliques.

L'enlèvement des boues peut être réalisé aisément avec un tracto-pelle équipé d'un godet large pour le curage des fossés. Sa lame doit être suffisamment tranchante pour couper les racines et les rhizomes des roseaux sans détériorer la surface des filtres et les couches de matériaux sous-jacentes. Une attention particulière doit être apportée, dès la conception, pour faciliter l'accès du tracto-pelle, du tracteur et de la remorque, qui ne doivent absolument pas pénétrer sur les filtres pour éviter tout tassement des matériaux filtrants colonisés par la biomasse.

Conclusion

Même s'ils ne sont pas capables d'atteindre des performances identiques à celles des boues activées, plusieurs études font état d'un niveau tout à fait acceptable de qualité de l'effluent des lagunages naturels et des filtres plantés de roseaux à écoulement vertical. Ces bonnes performan-

ces sont confirmées par les données présentées dans cet article. Cependant, c'est la fiabilité des performances qui donne le plus de satisfaction aux exploitants. Elle n'est pas aussi dépendante d'opérations requérant un haut niveau de technicité que dans les procédés intensifs. Dès lors qu'ils sont correctement conçus, mis en œuvre et facilement entretenus par des opérations certes régulières mais simples, la probabilité de dysfonctionnement de ces deux procédés est faible.

Si des eaux usées concentrées n'entrent pas dans les lagunages naturels au point de dépasser les capacités d'oxygénation résultant de l'action photosynthétique des algues, les contraintes d'exploitation fréquentes et régulières qui ont un effet direct sur les performances se limitent au nettoyage du dégrilleur et du piège à graisses. Néanmoins, l'extraction annuelle des boues piégées dans la surprofondeur en tête du 1^{er} bassin doit aussi contribuer à la fiabilité du fonctionnement.

Ce dernier dépend de mécanismes de dégradation complexes opérant dans les différents bassins où un équilibre entre bactéries, algues et zooplancton constitue une biocénose, dotée d'un important pouvoir tampon favorisé par de longs temps de séjour hydrauliques (plus de 70 jours en moyenne), et dont le développement est sous la seule dépendance des conditions climatiques.

Après leur mise en service, il n'est guère possible d'intervenir sur le fonctionnement des lagunages naturels. Leur conception et dimensionnement doivent donc être bien adaptés aux projets pour lesquels ils sont prévus (en particulier, pour des eaux usées peu concentrées pour s'assurer que des conditions de fonctionnement aérobies prévaudront continuellement).

Pour les filtres plantés de roseaux à écoulement vertical, à cause de la nécessaire alternance des périodes d'alimentation et de repos, leur bon fonctionnement est au contraire dépendant de tâches d'exploitation brèves mais absolument régulières. Il s'agit de la manœuvre des vannes d'alimentation des filtres du 1^{er} étage et, dans une moindre mesure, de celles alimentant le second étage. En même temps, il convient de vérifier le fonctionnement des siphons et du réseau de distribution pour que l'alimentation par bâchées assure une bonne répartition de l'influent.

L'alternance de l'alimentation des filtres revêt de ce point de vue une importance fondamentale pour éviter le colmatage et un fonctionnement

en aérobie. Même si l'aération peut être amplifiée par les phénomènes de convection liés aux déplacements liquides dans les interstices non saturés des granulats, grâce à l'alimentation par bâchées, il faut insister sur l'action de prévention du colmatage induite mécaniquement par les roseaux. Autour de chaque tige, un anneau libre à l'écoulement de l'eau se crée ; il est de surcroît constamment entretenu par les oscillations des tiges dues au vent. L'eau s'y infiltre et chemine le long des rhizomes, racines et radicelles jusqu'aux couches de granulats plus grossiers et drainés. Cette action mécanique des roseaux, s'exerçant au niveau de la surface des filtres, est considérée comme plus importante que les relargages directs d'oxygène au niveau de leurs racines, dans l'ensemble du processus d'aération des filtres.

Par comparaison avec des procédés intensifs, les réelles possibilités de dysfonctionnement

sont peu importantes et ne peuvent pas donner un résultat plus mauvais qu'un clarificateur de station à boues activées qui perdrait des boues suite à une panne de la pompe de recirculation, par exemple. Même si n'entraient en jeu que des processus physiques, ces filtres seraient suffisants pour obtenir un effluent de meilleure qualité.

Un autre aspect positif du lagunage naturel et des filtres plantés de roseaux à écoulement vertical vient du fait qu'après extraction des boues des lagunes/filtres, ils sont prêts à fonctionner pour un nouveau cycle de fonctionnement sans qu'il soit nécessaire de changer d'équipements électromécaniques. Cela minimise les coûts d'exploitation et contribue à la fiabilité des performances qui n'est pas affectée par des pannes épisodiques de tels équipements. □

Remerciements

Les auteurs remercient Arthur Iwema de l'Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse et Helen Burnett pour leur aimable assistance.

Résumé

En France, les filtres plantés de roseaux à flux vertical et les lagunages naturels sont des systèmes de traitement extensifs bien adaptés aux petites communes rurales, essentiellement parce qu'ils sont faciles à exploiter et que leurs performances sont fiables. La plupart du temps, l'effluent rejeté est de meilleure qualité que les niveaux minimums requis par la réglementation (respectivement D4 et D3 de la circulaire du 17 février 1997), même si la qualité de rejet d'un lagunage peut être affectée par des variations saisonnières, particulièrement les concentrations en nutriments. En sortie des filtres plantés, les concentrations de nitrates sont élevées en raison des conditions fortement aérobies qui prévalent dans les filtres du 2^e étage. Dans ceux du 1^{er} étage, une légère dénitrification peut intervenir à la base des filtres quand l'eau est temporairement stockée pour alimenter le siphon qui réalise les bâchées sur les filtre du 2^e étage. Pour les deux procédés, l'extraction des boues accumulées dans la 1^{re} lagune ou sur les filtres du 1^{er} étage est seulement nécessaire à échéance d'une dizaine d'années à charge nominale. Le teneur en matière sèche de la boue extraite des filtres plantés est d'évidence plus importante que celle des lagunes. Pour les deux procédés, les tâches routinières d'exploitation pour une station de 400 équivalents-habitants représentent environ 100 heures de présence annuelle du préposé. Pour un lagunage naturel de 1 000 EH, il faut consacrer moins de temps que pour des filtres plantés de roseaux de taille équivalente à cause du faucardage annuel des roseaux qui n'est guère réductible. Quand les boues ont été extraites des zones adéquates, ces stations sont prêtes pour un nouveau cycle de fonctionnement sans avoir à changer un équipement électromécanique et cela contribue fortement à la fiabilité des performances épuratoires.

Abstract

In France, vertical flow constructed wetlands and waste stabilisation ponds are both extensive treatment processes well adapted to small rural communities mainly because they are easy to operate and their performance is reliable. Most of the time, the effluent has a better quality than required by legislation; even if WSP performance can be affected by seasonal variations, especially as regards nutrients. For VFCWs, nitrate concentrations remain high due to the fully aerobic conditions prevailing in the 2nd stage filters. In the 1st stage filters only a little denitrification can occur in the drainage layer when water is temporarily stored to batch feed the 2nd stage filters. For both processes the removal of sludge accumulated in the first pond/filters is only necessary every 10 years or more at nominal load. Dry matter content of the sludge removed from VFCWs is obviously higher than that from ponds. For both processes annual routine maintenance operations for a plant designed for 400 p.e. requires approximately 100 hours of presence at the plant by a member of the municipal staff. For a 1,000 p.e. WSP plant, less time is needed than for a VFCW plant, because of the annual harvesting of the aerial part of the reeds. Once sludge is removed, these plants are ready to perform a new cycle of operation without having to change any electro-mechanical equipment. This contributes greatly to the reliability of performance.

Bibliographie

BOUTIN, C., LIÉNARD, A., ESSER, D., 1997, Development of a new generation of reed-bed filters in France : first results, *Wat. Sci. Tech.*, 35 (5), p. 3151-322.

Cemagref, SATESE, École nationale de la Santé publique et Agences de l'eau, 1997, *Le lagunage naturel : les leçons tirées de 15 ans de pratique en France*, Co-éditions Cemagref Éditions, Agence de l'eau Loire-Bretagne, Antony, France, 60 p.

Circulaire d'application n° 97-31 du 17 février 1997 relative à l'assainissement collectif de communes – ouvrages de capacité inférieure à 120 kg DBO₅/jour, parue au B.O. du ministère de l'Équipement, du Logement, du Tourisme et du Transport du 10 mai 1997.

MIDDLEBROOKS, E.-J., MIDDLEBROOKS, C.-H., REYNOLDS, H.-H., WATTERS, G.-Z., REED, S.-D., GEORGE, D.-B., 1982, *Wastewater stabilization lagoon design, performance and upgrading*, Macmillan Publishing Co, New York.

MOLLE, P., LIÉNARD, A., BOUTIN, C., MERLIN, G., IWEMA, A., 2004, *How to treat raw sewage with constructed wetlands : An overview of the French systems*, Preprints of the 9th International Specialised Conference on Constructed Wetlands, Avignon, France.

MOLLE, P., 2003, *Subsurface flow constructed wetlands : Phosphorus retention and hydraulic limits of vertical subsurface flow CWs* (en français), thèse, université de Montpellier, 267 p.

RACAULT, Y., 1993, Ponds malfunction : case study of three plants in the South West of France, *Wat. Sci. Tech.*, 28 (10), p. 183-192.

RACAULT, Y., BOUTIN, C., SEGUIN, A., 1995, Waste Stabilisation Ponds in France : a report on fifteen years experience, *Wat. Sci. Tech.*, 31 (12), p. 91-102.

RACAULT, Y., BOUTIN, C., 2004, *Waste Stabilisation Ponds in France : State of the Art and Recent Trends*, Preprints of the 6th International Specialised Conference on WSP, Avignon, France.

RACAULT, Y., SCHETRITTE, S., 1996, Influence de la saison sur l'abattement de l'azote en lagunage naturel, in *Traitement de l'azote, cas des eaux résiduaires urbaines et des lisiers*, Actes de colloque, Ed. Cemagref-DICOVA, Antony, p. 53-61.