Traitement des eaux usées domestiques par marais artificiels : état de l'art et performances des filtres plantés de roseaux en France

Pascal Molle, A. Liénard, Catherine Boutin, Gerard Merlin, A. Iwema

▶ **To cite this version:**

Pascal Molle, A. Liénard, Catherine Boutin, Gerard Merlin, A. Iwema. Traitement des eaux usées domestiques par marais artificiels : état de l'art et performances des filtres plantés de roseaux en France. Ingénieries eau-agriculture-territoires, 2004, spécial Assainissement, marais artificiels et lagunage : retours d'expérience en Europe, pp.23-32. hal-02586475

HAL Id: hal-02586475
https://hal.inrae.fr/hal-02586475

Submitted on 26 May 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Traitement des eaux usées domestiques par marais artificiels : état de l'art et performances des filtres plantés de roseaux en France

Pascal Molle [a], Alain Liénard [a], Catherine Boutin [b], Gérard Merlin [c], Arthur Iwema [d]

Parmi les différents types de marais artificiels traitant des eaux usées domestiques, les filtres plantés de roseaux à écoulement vertical (FPRV), en deux étages, constituent le procédé le plus développé en France. La particularité de ce procédé est qu'il accepte des eaux usées brutes directement à la surface des filtres du premier étage. Aucune étape de décantation n'est nécessaire au préalable, permettant ainsi une meilleure gestion des boues, en comparaison des filières comportant des boues primaires à gérer (fosse Imhoff...). L'utilisation des FPRV, développés par le Cemagref depuis une vingtaine d'années (Liénard *et al.*, 1987), a réellement connu un essor dans les années 1990 grâce à la SINT[1]. Avec le temps, le procédé s'est doté d'une bonne réputation pour le traitement des eaux des petites collectivités et, de nos jours, plusieurs entreprises le proposent.

Face au succès que connaît de nos jours ce procédé, et sachant que le dimensionnement n'est pas figé, le récent groupe français sur l'utilisation des macrophytes a initié une enquête nationale dans le but de faire un état des lieux du nombre de stations, de leur dimensionnement, de leurs performances et des dysfonctionnements qu'elles peuvent connaître. L'objectif second était de corriger d'éventuelles erreurs de dimensionnement afin de fiabiliser la filière. Cet article présente des résultats de cette étude et des leçons qui peuvent en être tirées en termes de dimensionnement.

Rappel des bases de dimensionnement et d'organisation de la filière

Nous rappelons ci-après les bases de dimensionnement et d'organisation de la filière.

Le dimensionnement des filtres a été établi empiriquement à partir des connaissances du Cemagref acquises pendant des années de recherches de terrain et de laboratoire sur les systèmes de cultures fixées sur supports fins. Un dimensionnement avait été proposé (Boutin *et al.*, 1997 ; Liénard *et al.*, 1998) pour éviter de mauvaises réalisations susceptibles de nuire au développement de la filière. Le dimensionnement est basé sur une charge organique acceptable exprimée en surface de filtre par équivalent habitant (EH). Classiquement, la filière se compose de deux étages de traitement composés de trois filtres en parallèle au premier étage et deux au second étage. Les figures 1 et 2 (page 24) permettent de visualiser la configuration des filtres ainsi que les granulométries des matériaux utilisés à chaque étage.

Chaque filtre du premier étage reçoit la totalité de la charge pendant la phase d'alimentation, d'une durée de 3-4 jours, avant d'être mis au repos pendant une période double. Ces phases d'alimentation et de repos sont fondamentales pour contrôler la croissance de biomasse au sein des filtres, maintenir des conditions aérobies à l'intérieur des filtres et minéraliser le dépôt de matière organique provenant de la rétention des matières en suspensions (MeS) à la surface (Liénard *et al.*, 1990b). Par la

1. Société Ingénierie Nature et Technique.

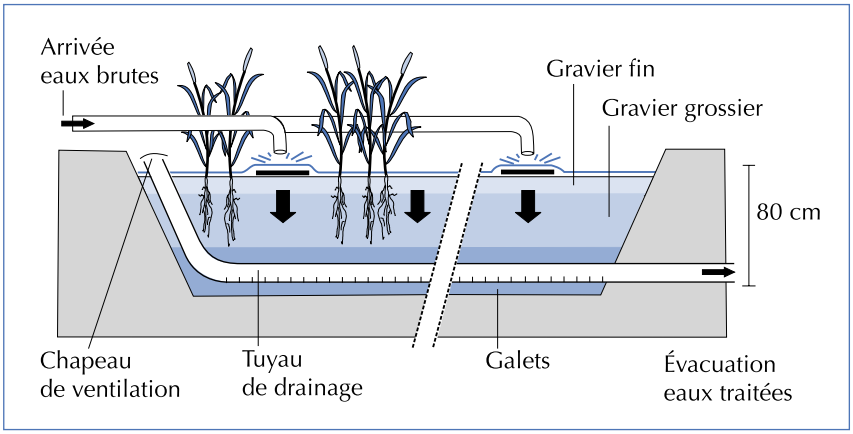
Les contacts

a. Cemagref, UR Qualité des eaux et préventions des pollutions, 3 bis quai Chauveau, CP 220, 69336 Lyon Cedex 09

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

c. Laboratoire OCIE, Équipe Biotechnologies et génie des procédés pour l'environnement, ESIGEC, université de Savoie, 73376 Le Bourget-du-Lac

d. Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse, 2-4 allée de Lodz, 69363 Lyon Cedex 07



◀ Figure 1 – Schéma d'un premier étage de filtre.

suite, l'effluent est envoyé sur un deuxième étage de traitement pour affiner l'épuration, particulièrement en ce qui concerne la nitrification. Les surfaces nécessaires à chaque étage, qui peuvent être adaptées en fonction du climat, du niveau de rejet requis, de la charge hydraulique (eaux claires parasites, réseaux unitaires...), même si les filtres ont été principalement recommandés pour des réseaux séparatifs jusqu'à présent, sont de 1,2 m^2 EH^{-1} pour l'ensemble des trois lits du premier étage (soit une charge organique de 300 g DCO $m^{-2}.j^{-1}$, ≈ 150 g MeS $m^{-2}.j^{-1}$, ≈ 25-30 g NK $m^{-2}.j^{-1}$ et une charge hydraulique de 0,37 $m.j^{-1}$ sur le filtre du premier étage en fonctionnement), et 0,8 m^2 EH^{-1} pour les deux filtres du deuxième étage. Ce dimensionnement est basé sur un rejet quotidien de 120 g de DCO.EH^{-1}, 60 g MeS.EH^{-1}, 10-12 g NK.PE^{-1} et 150 l. EH^{-1}, comme il est souvent observé pour les petites collectivités en France.

Les filtres sont alimentés par bâchées pour assurer une distribution optimum des eaux et des MeS sur la totalité de la surface du filtre ainsi que pour améliorer l'oxygénation. Quand la dénivelée entre l'entrée et la sortie de la station est suffisante, la station peut fonctionner sans apport d'énergie, par l'intermédiaire de siphons auto-amorçants par exemple. Cette configuration est connue pour permettre une bonne dégradation de la matière carbonée, une rétention des MeS, ainsi qu'une nitrification quasi complète (Boutin *et al.*, 1997).

1er étage	2e étage
> 30 cm de gravier fin (2-8 mm)	> 30 cm de sable (0,25 mm < d_{10} < 0,40 mm)
Couche de transition : 10 à 20 cm de granulométrie adaptée (5-20 mm)	Couche de transition : 10 à 20 cm de granulométrie adaptée (3-10 mm)
Couche de drainage : 10 à 20 cm de 20-40 mm	Couche de drainage : 10 à 20 cm de 20-40 mm

▲ Figure 2 – Profils granulométriques.

Matériels et méthodes

Les données relatives à la situation française ont été collectées par l'intermédiaire de questionnaires envoyés aux différents SATESE. Outre le recensement des stations, ce questionnaire avait pour objectif de répertorier les caractéristiques de dimensionnement des stations. À partir de là, un échantillon de 81 stations a été sélectionné, représentatif de la situation nationale, pour évaluer les performances épuratoires des filtres par des bilans 24 heures. Soixante pour cent des stations ont entre 4 et 6 ans de fonctionnement, 60 % traitent uniquement des eaux usées domestiques et la capacité moyenne est de 410 EH (médiane 325 EH). Nous nous sommes également attachés à sélectionner des stations à différentes altitudes (0 à 1 000 m).

Les performances épuratoires ont été évaluées par des bilans 24 heures proportionnels au débit pour différentes périodes de l'année (été et hiver).

Dans la mesure du possible, chaque étage de traitement a été évalué en suivant les paramètres DCO, DBO_5, MeS, NK, $N\text{-}NH_4$, PT et $P\text{-}PO_4$ (méthodes normalisées). Les débits ont été mesurés, soit par l'intermédiaire de canaux venturi, soit par l'enregistrement de temps de fonctionnement de pompes préalablement tarées.

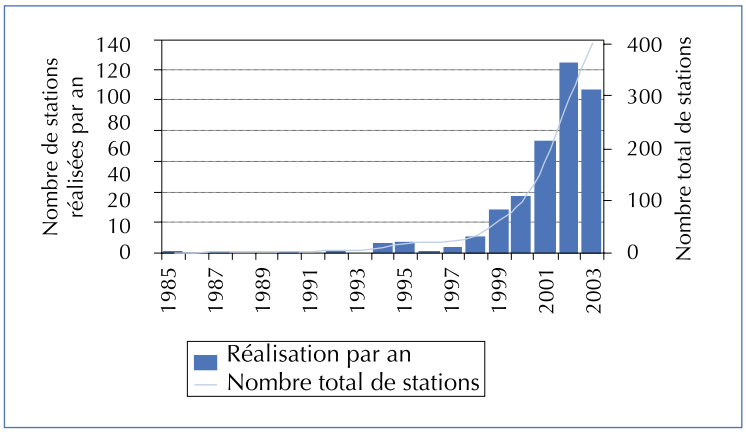
Sachant que le pourcentage d'azote dans les MeS des eaux usées brutes est de 3 à 5 % et seulement

de 0,7 % dans les dépôts accumulés à la surface des filtres (Molle, 2003), la nitrification est calculée à partir des rendements épuratoires observés sur NK. Une telle approximation est considérée plus réaliste que des calculs basés sur les concentrations en nitrates, compte tenu de la difficulté de boucler les bilans d'azote sur ce type de filière en raison des phénomènes de stockage et de relargage liés au rythme des alimentations et repos. Tous les rendements sont calculés à partir des flux en kg. Une analyse statistique des résultats est réalisée pour les comparer entre eux. Il s'agit d'analyse de variances et de comparaison de moyennes ($p = 0,05$) par les tests de Fisher et de Student, en comparant les échantillons deux à deux. L'intervalle de confiance (95 % des valeurs) est déterminé par la relation $\pm 2\frac{SD}{\sqrt{N}}$ où N est le nombre de valeurs et [SD] l'écart type.

Résultats et discussion

L'état du développement des filtres plantés de roseaux

Plus de 400 stations par filtres plantés de roseaux (FPR) sont actuellement en fonctionnement en France, et plus de 100 stations par an sont réalisées de nos jours (figure 3). Bien que non complète, en raison d'un taux de réponse des SATESE de l'ordre de 64 %, l'enquête révèle la popularité de ces procédés, et particulièrement de la filière verticale à deux étages qui représente 80 % des stations, pour les petites collectivités. Actuellement, plus de 300 stations (65 % < 300 EH) traitent directement des eaux usées brutes par filtres plantés de roseaux, en suivant à peu près les recommandations du Cemagref (1er étage moy-min-max : 1,2-0,1-4,7 m^2. EH^{-1} ; 2e étage : 0,8-0,1-3,6 m^2. EH^{-1}).



▲ Figure 3 – Développement de la filière verticale.

▼ Tableau 1 – Types des stations évaluées.

Types de stations	Nombre de stations	Nombre de bilans	Âge de la station lors des bilans (année)
V + V	53	134	0 - 7,0
V + H	2	33	1,2-8,0
V+ FS	7	11	0,4-2,0
V	5	5	0,6-4,6
V + L	3	12	0,2-2,5
V + V + H	1	9	Démarrage
V + V + L	1	6	11,6-15,0
V + H + H	2	3	0,6-2,3
V + H + L	2	3	1,2
V + L + V	1	2	1,6
V + H + V	1	1	2,6
L + V	1	9	0-1,0
L + V + V	1	3	?
H + V + H	1	2	3,5-4,0

V : vertical ; H : horizontal ; FS : filtre à sable ; L : lagunage

Les différences de dimensionnement proviennent parfois d'une adaptation aux caractéristiques des eaux à traiter (présence d'eaux claires parasites, par exemple). Soixante-dix pour cent de ces stations traitent les eaux provenant d'un réseau séparatif, 10 % d'un réseau séparatif comportant des eaux claires parasites et 20 % d'un réseau unitaire. Le système d'alimentation des filtres est, dans la majeure partie des cas, gravitaire (60 % des filtres du 1er étage et 75 % des filtres du 2e étage alimentés par siphon) autorisant, par-là même, un fonctionnement sans apport d'énergie.

L'analyse des performances épuratoires a été effectuée sur 233 bilans 24 heures de 81 stations (tableau 1, page 26). L'étude a été focalisée sur la filière classique V + V traitant des eaux usées brutes. En conséquence de quoi, l'analyse séparée des étages de traitement a été effectuée sur tous les filtres V recevant des eaux usées brutes pour les filtres du premier étage (et ce, quelque soit le type de traitement qui suit), et sur tous les filtres V en deuxième étage de traitement pour les filtres du deuxième étage.

L'efficacité globale de la filière V + V

Sur l'ensemble des stations (« filière classique » V + V sans prétraitement), de larges variations de charges hydrauliques (Moy_{CH} = 0,37 m.j^{-1} ; SD = 0,38 ; min-max = 0,03-3,9 m.j^{-1}) et organiques sont observées sur le filtre du premier étage en fonctionnement. En conséquence de quoi, et au regard également des différences de conception, âge de la station, etc., les rendements épuratoires varient également. En excluant les cas des très fortes charges hydrauliques (CH), provoquant un effluent très dilué, on observe le bon potentiel épuratoire de la filière en général. Le tableau 2 décrit les rendements épuratoires pour des CH inférieures à deux fois la CH de temps sec. On observe alors que globalement la filière est capable de produire de bons niveaux de rejet, excepté pour le paramètre phosphore (40 % d'abattement en moyenne) et la dénitrification, respectivement en raison de l'absence de matériaux pouvant retenir cet élément, et de conditions anaérobies.

Dans de nombreux cas, l'exploitant mentionne une amélioration des rendements épuratoires avec l'accroissement de la couche de dépôt à la surface des filtres du premier étage. Cet effet n'est pas observé sur l'ensemble de la filière car aucune différence de rendement n'est notée avec l'âge de la station. Le deuxième étage de traitement permet de fiabiliser la qualité du rejet. En raison de la sensibilité de la nitrification à la présence d'oxygène et de sa compétition avec la dégradation de la matière carbonée, on observe une dispersion plus importante des rendements. Plusieurs paramètres comme le système de distribution, la gestion de l'alimentation (fréquence et volume des bâchées), le type et la hauteur de matériau utilisé influencent l'étape de nitrification. Compte tenu de la diversité des facteurs qui influencent le processus, seul le paramètre de surface de filtre mise en jeu montre un effet significatif sur l'ampleur de la nitrification. Pour des charges hydrauliques (0,20 m.j^{-1}) et des concentrations d'entrée (NK = 80 ± 15 mg.l^{-1}) comparables, les concentrations en NK de sortie diffèrent suivant la surface unitaire mise en jeu (tableau 3). S'il ne

▼ Tableau 2 – Rendements épuratoires et concentrations de sortie de la filière filtres plantés de roseaux à 2 étages pour des CH < 0,75 m.j^{-1}.

Âge de la station (a)		DCO		MeS		NK	
		% Rendement	Concentration de sortie mg.l^{-1}	% Rendement	Concentration de sortie mg.l^{-1}	% Rendement	Concentration de sortie mg.l^{-1}
2-6	**Moy** (N)	**91** ± **3** (48)	**66** ± **13** (49)	**95** ± **2** (49)	**14** ± **5** (49)	**85** ± **5** (49)	**13** ± **5** (49)
	SD	10,2	45,5	5	17,5	17,1	17,5
< 2	**Moy** (N)	**90** ± **2** (43)	**65** ± **15** (51)	**94** ± **4** (43)	**15** ± **6** (51)	**85** ± **6** (43)	**12** ± **5** (49)
	SD	7,1	51	12,2	19,7	18,4	15,7

(N) = nombre de mesures ; SD = écart-type.

▼ Tableau 3– Concentration de NK en sortie de la filière classique FPR en fonction de la surface unitaire mise en jeu.

Surface unitaire totale	1,5-2 m^2.EH^{-1}	2-2,5 m^2.EH^{-1}	2,5-3 m^2.EH^{-1}
NK sortie (mg.l^{-1}) (N)	16 ± 8 (28)	6 ± 2 (20)	5,6 ± 3 (10)

(N) = nombre de mesures.

semble pas nécessaire de mettre en jeu des surfaces unitaires supérieures à 2,5 $m^2.EH^{-1}$ pour améliorer la nitrification, une surface de 2 $m^2.EH^{-1}$ est un prérequis pour atteindre des concentrations de sortie de 8 mg $NK.l^{-1}$ (6 mg $N\text{-}NH_4.l^{-1}$).

Le rendement du premier étage de traitement

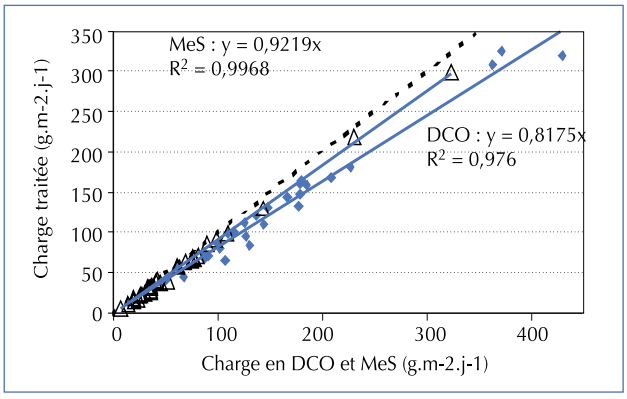
L'étude des performances du premier étage a été réalisée à partir de 54 bilans 24 heures. Comme les caractéristiques de dimensionnement, la gestion de l'alimentation et les charges varient ; il n'est pas aisé de relier clairement l'impact du dimensionnement sur les rendements épuratoires. Néanmoins, on peut observer sur le tableau 4, que le rôle de cet étage concerne principalement la rétention des MeS et la dégradation de la DCO, bien que la nitrification ne soit pas négligeable.

L'importante rétention des MeS est due principalement à la couche de dépôt en surface des filtres. Cette couche est d'une grande importance pour freiner la vitesse d'infiltration et par conséquent limiter la CH admissible. Ce facteur, hydrauliquement limitant, est néanmoins contrebalancé par la croissance des roseaux permettant d'accepter des surcharges hydrauliques (Molle, 2003). Cette évolution sur l'année des vitesses d'infiltration ne permet néanmoins pas d'observer des différences de rétention des MeS sur les bilans 24 heures étudiés : la rétention reste stable.

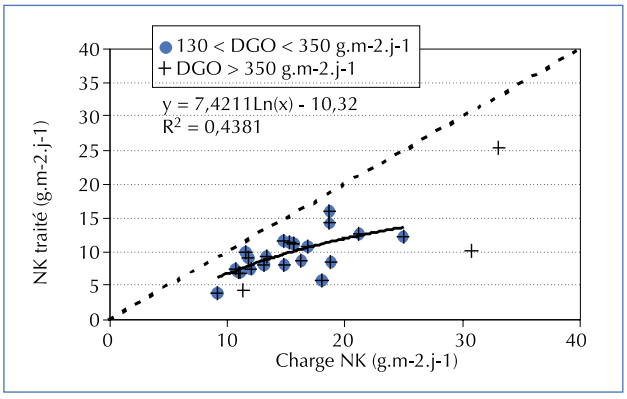
Les figures 4 et 5 présentent les performances épuratoires en fonction de la charge organique reçue (la droite en pointillés représentant 100 % d'abattement). Il apparaît alors que les performances en terme de DCO et de MeS restent correctes, même pour des charges supérieures à celles préconisées. Pour de faibles charges hydrauliques, des variations plus importantes d'abattement de la DCO sont observées (80 ± 6 % ; N = 15). Ceci peut être mis en relation avec la non-homogénéité de la répartition de l'eau et donc des dépôts, pour cette gamme de charge, conduisant à la présence de passages préférentiels au sein du massif filtrant. L'abattement de la DCO est sensible aux conditions d'écoulement, et particulièrement aux vitesses d'infiltration (Molle, 2003). En revanche, la rétention des MeS est stable et efficace quelle que soit la charge. En ce qui concerne la nitrification (figure 5), seulement

▼ Tableau 4 – Rendements et concentrations de sortie d'un premier étage de filtre pour des CH < 0,6 $m.j^{-1}$.

		DCO		MeS		NK	
		% Rendement	Concentration de sortie $mg.l^{-1}$	% Rendement	Concentration de sortie $mg.l^{-1}$	% Rendement	Concentration de sortie $mg.l^{-1}$
Ensemble des données	**Moy** (N)	**79** ± **3** (54)	**131** ± **20** (54)	**86** ± **3** (54)	**33** ± **6** (54)	**58** ± **5** (54)	**31** ± **5** (54)
	SD	10	71	12	19	17	17
520 < DCO < 1 400 (moy 840) $mg.l^{-1}$	**Moy** (N)	**82** ± **3** (34)	**145** ± **24** (34)	**89** ± **3** (34)	**33** ± **7** (34)	**60** ± **6** (34)	**35** ± **7** (34)
	SD	7	70	7	19	16	18



▲ Figure 4 – DCO et MeS traitées pour des concentrations en DCO d'entrée entre 520-1 400 $mg.l^{-1}$; 0,15 < CH < 0,6 $m.j^{-1}$.



▲ Figure 5 – NK traité pour des stations > 1 an, 0,15 < CH < 0,6 $m.j^{-1}$.

50 % de rendement peut être attendu pour des charges nominales (25-30 $g.m^{-2}.j^{-1}$). Des variations sont observées sans pouvoir pour autant les relier clairement avec les caractéristiques de dimensionnement pour des demandes globales en oxygène (DGO = DCO + 4,57 × NK) comprises entre 40 et 110 % de la charge nominale et des CH comprises entre 40 et 160 % de la charge nominale. En fait, on observe une tendance à une amélioration de la nitrification au cours de l'année. La période hivernale, avec de faibles températures ainsi qu'une moindre minéralisation des dépôts, est la période la plus défavorable pour l'activité biologique. La nitrification est probablement le premier processus à en être affecté. De plus, la période de janvier à avril se traduit par une accumulation importante de dépôts qui sèchent et se minéralisent faiblement, conduisant à diminuer les vitesses d'infiltration et le renouvellement de l'oxygène.

Les performances du deuxième étage de traitement

Comme indiqué dans le tableau 5, le rôle principal du 2e étage concerne principalement la nitrification. En raison de faibles concentrations en DCO et MeS (environ 140 et 40 $mg.l^{-1}$, respectivement), cet étage n'a qu'un rôle d'affinage sur ces paramètres.

Aucune corrélation n'a été observée entre les performances et la surface unitaire utilisée. Pour la DCO, la charge hydraulique a une influence sur les performances (figure 6). Cette décroissance des performances pour de fortes charges hydrauliques avait été mise en évidence par Molle (2003) sur colonnes expérimentales. L'abattement de la DCO est sensible au temps de séjour de l'effluent au sein du massif. En revanche, compte tenu de la dilution de l'effluent pour de fortes charges hydrauliques, cette décroissance des rendements n'affecte en rien la concentration de sortie en DCO. Les concentrations de sortie restent inférieures à 90 $mg.l^{-1}$. Des informations plus précises seraient nécessaires pour décrire dans quelle mesure la configuration du filtre affecte son efficacité.

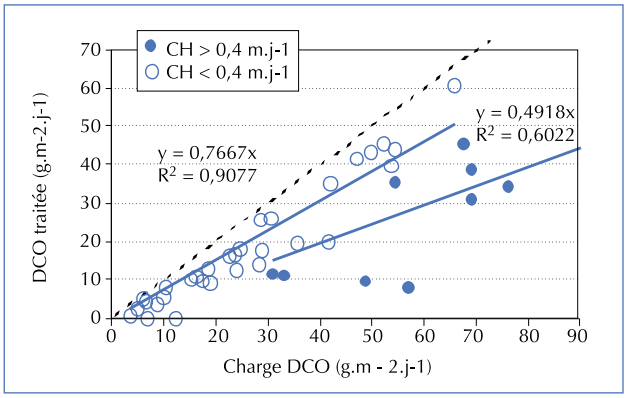
Dans cette étude, la hauteur et le type de matériau ne sont pas suffisamment décrits pour mettre en évidence le rôle du matériau. De même, compte tenu de l'importance de la distribution des eaux à la surface des filtres, des informations plus précises des modes et systèmes d'alimentation auraient été nécessaires pour préciser les conditions optimum de distribution des eaux à la surface des filtres. Néanmoins, on peut observer, en ce qui concerne la nitrification, que les abattements obtenus sur l'ensemble des stations sont cohérents avec ceux mesurés par Molle (2003) dans des conditions beaucoup plus maîtrisées (figure 8). Seuls 9 bilans sur 53, effectués par les SATESE, dévient de cette relation pour de faibles charges en NK. Si on ne peut faire ressortir une cause commune à ces baisses de potentiel de nitrification (effluent dilué, présence d'eaux de type industriel, granulométrie...), le débit d'alimentation des bâchées semble être un facteur clé dans l'efficacité de la nitrification. Dans ce but, des études plus précises seraient nécessaires pour définir les conditions optimum d'alimentation des filtres (débits, gestion des bâchées...) vis-à-vis de la nitrification, facteur le plus sensible aux conditions d'oxygénation des massifs.

Néanmoins, la nitrification est suffisante pour respecter les normes de rejets pour des charges inférieures à 15 $g.m^{-2}.j^{-1}$ de NK sur le filtre du deuxième étage en fonctionnement. Pour des charges plus importantes, les rendements de nitrification diminuent. Dans ce cas, les concentrations au rejet restent basses si la surcharge en azote est due à une surcharge hydraulique d'un effluent dilué. Si la surcharge en azote est un fait avec de fortes concentrations en NK, les 90 % de nitrification sur l'ensemble de la filière seront difficiles à obtenir.

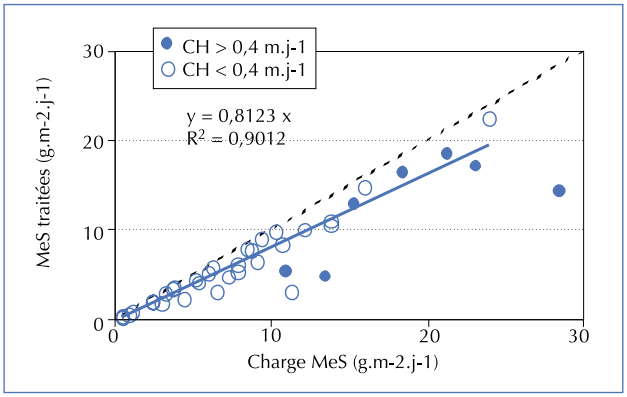
▼ Tableau 5 – Rendements et concentrations de sortie d'un deuxième étage de filtres pour des CH < 0,6 $m.j^{-1}$.

		DCO		MeS		NK	
		% Rendement	Concentration de sortie $mg.l^{-1}$	% Rendement	Concentration de sortie $mg.l^{-1}$	Concentration de sortie $mg.l^{-1}$	% Rendement
Ensemble des bilans	**Moy** (N)	**56** ± **12** (44)	**51** ± **7** (44)	**65** ± **10** (44)	**11** ± **3** (44)	**71** ± **7** (44)	**7** ± **2** (44)
	SD	38	23	34	9	23	6
80 < COD < 280 (moy 140) $mg.l^{-1}$	**Moy** (N)	**60** ± **8** (28)	**55** ± **8** (29)	**72** ± **7** (28)	**11** ± **4** (29)	**78** ± **7** (28)	**6** ± **2** (29)
	SD	21	21	19	9	18	5

(N) = nombre de mesures.



▲ Figure 6 – DCO traitée au 2e étage.

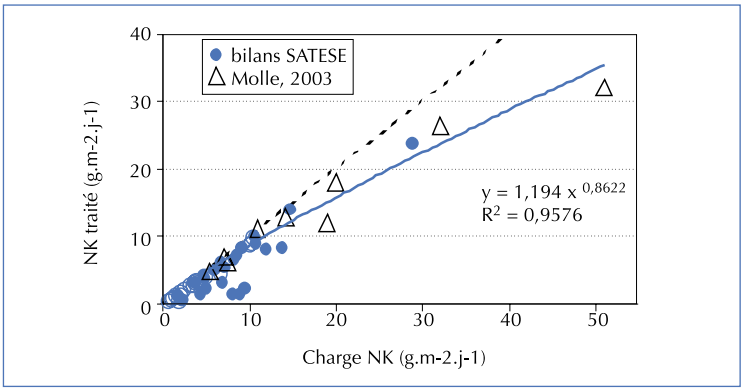


▲ Figure 7 – MeS traitées au 2e étage.

L'évolution et la gestion des boues

De nos jours, l'évacuation des boues n'a été faite que sur une seule station de 1 600 EH composée de 8 filtres en parallèles en amont d'un lagunage naturel. En fonctionnement depuis 1987, 6 filtres sur 8 ont été vidangés en 1996, non pas en raison d'une détérioration de la qualité du rejet, mais en raison d'une hétérogénéité de la hauteur des dépôts causant des problèmes hydrauliques. Les faibles hauteurs de revanche provoquaient des débordements de surface. Les problèmes d'hétérogénéité de la répartition des dépôts étaient dus à des débits d'alimentation trop faibles et à un mauvais système de répartition. La hauteur moyenne des boues était de l'ordre de 13 cm (min. 6 cm, max. 27 cm). En 1999, le débit d'alimentation des filtres a été corrigé pour améliorer la distribution des eaux et des MeS à la surface des filtres.

En mars 2001, la hauteur de boue accumulée à la surface des deux lits non précédemment vidangés (14 ans de fonctionnement) était de l'ordre de 23 cm sur l'ensemble de la surface, causant des débordements lors des pics journalier. Ces mesures ont permis de confirmer la valeur de 15 mm d'accumulation de boues par an. Les analyses des boues, pour déterminer le degré de minéralisation, sont présentées dans le tableau 6 (page 30). En raison de test de vitesses d'infiltration juste avant l'évacuation et de conditions climatiques pluvieuses, les conditions de séchage n'étaient pas optimum. Néanmoins, la siccité des boues était toujours supérieure à 20 %, excepté en ce qui concerne la fine couche supérieure de boues récemment déposée. La minéralisation progressive des boues se traduit par des gradients de siccité et de taux de matière organique avec la profondeur. Les analyses confirment, malgré les conditions climatiques défavorables, une relativement haute siccité des boues. La minéralisation génère probablement une structuration des boues permettant une infiltration rapide des eaux et autorisant un séchage plus intense lors des périodes de repos.



▲ Figure 8 – NK traité au 2e étage (0,05 < CH < 2,2 m.j-1).

Sur la base d'une charge en MeS de 16,3 kg par jour, et de 90 % de rétention, la quantité de MeS retenue sur les 2 filtres en 14 années de fonctionnement est de 75 000 kg. La masse de boues évacuée (hauteur moyenne de 22,5 cm, matière sèche 25 %, surface des 2 filtres 550 m²) est alors de l'ordre de 29 000 kg. Cela représente 39 % des MeS retenues et donc une minéralisation de l'ordre de 61 %. Cette valeur est proche de celle estimée à 65 % dans une précédente étude (Boutin *et al.*, 1997). Cette minéralisation aérobie, mise en évidence par la présence de nombreux lombrics, peut être expliquée par le fait qu'une fois grossièrement séchées (i.e. 15 % de MS), les MeS retenues à la surface ne s'accroissent pas plus de 1,5 mm par semaine. Par conséquent, une telle couche est en contact direct avec l'atmosphère. Protégées des UV par les roseaux et dans des conditions optimum d'hygrométrie, les bactéries présentes dans les boues peuvent alors démarrer facilement leur activité de minéralisation aérobie.

▶ Tableau 6 – Qualité des boues des 2 filtres vidangés en 2001 à Gensac la Pallue.

		Matière sèche ($g.kg^{-1}$)	Matière organique (% des MS)
Filtre 7	Couche supérieure	181,0	61,2
	Couche intermédiaire	205,0 214,5 Moy = 261,8 365,9*	54,9 51,5 Moy = 42,96 22,5
	Couche inférieure	291,6	39,8
	Moyenne**	**284,0**	**34,3**
Filtre 6	Couche supérieure	154,0	54
	Couche intermédiaire	213,2	48,3
	Couche inférieure	218,1 Moy = 264,3 310,5	45,3 Moy = 41,5 37,8
	Moyenne**	**217,8**	**49,2**
Boues stockées depuis la vidange de 1996		583,0	10,4

* Cette valeur importante peut être expliquée par une faible alimentation de cet endroit de prélèvement avant 1999 en raison des problèmes de distribution susmentionnés.
** Réalisée à partir d'un mélange de plusieurs échantillons prélevés pendant la vidange.

Cette couche de dépôts fait partie intégrante de l'activité biologique des filtres et tend à accroître la dégradation des polluants et la rétention des MeS. L'accroissement de la hauteur de dépôt n'affecte pas de manière drastique la capacité hydraulique des filtres, grâce au rôle mécanique des roseaux (Molle, 2003). C'est principalement la fine couche de dépôts récemment déposée qui est limitante hydrauliquement. La vidange des boues, toutefois nécessaire lorsqu'elles atteignent une hauteur de 20 cm environ, n'affecte pas la repousse des roseaux. L'analyse des boues évacuées (Molle, 2003) a montré leur possible réutilisation en agriculture si aucune source de métaux n'est connectée au réseau (cuivre dans des effluents vinicoles, par exemple).

Conclusion

Cette étude permet de faire un état des lieux de la filière française de filtres plantés de roseaux en se focalisant sur la pertinence des critères de dimensionnement. Globalement, cette filière est très bien adaptée au contexte des petites collectivités et fournit d'excellents rendements épuratoires (> 90 % pour la DCO, 95 % pour les MeS et 85 % de nitrification) malgré la disparité des charges hydrauliques et organiques observées sur les stations étudiées (15 % des bilans font apparaître des surcharges organiques, et 25 % des surcharges hydrauliques). Le premier étage de traitement a un rôle prépondérant sur l'abattement de la DCO et des MeS, alors que la nitrification est variable et de l'ordre de 50 % de la charge entrante en NK. Le deuxième étage assure la finition de la qualité du rejet en termes de DCO et de MeS et complète la nitrification. Sachant que l'étude intègre la totalité des critères de dimensionnement (taille, granulométrie, hauteurs de matériaux, système de distribution...), l'importance de chaque critère sur les performances épuratoires n'a pas pu être mise en évidence. Néanmoins, plus sensible aux conditions d'oxygénation et d'alimentation, la nitrification est un paramètre clé pour observer l'adéquation du dimensionnement et de la gestion des filtres vis-à-vis des performances. Malgré un manque de données concernant les hauteurs et types de matériaux ainsi que les dispositifs d'alimentation, il apparaît qu'une surface totale de 2 $m^2.EH^{-1}$ est un pré-requis pour atteindre une bonne nitrification. Des surfaces supérieures à 2,5 $m^2.EH^{-1}$ ne semblent pas être nécessaires pour améliorer la nitrification. La détermination des performances épuratoires de chaque étape de traitement, pour différentes charges organiques et parfois hydrauliques, nous permet de préciser les potentialités du système. Pour des charges nominales, un dimensionnement de 1,2 $m^2.EH^{-1}$ au premier étage et 0,8 $m^2.EH^{-1}$ au deuxième étage permet de garantir des rejets de 60 $mg.l^{-1}$ en DCO, 15 $mg.l^{-1}$ en MeS et 8 $mg.l^{-1}$ en NK. Les surcharges hydrauli-

ques affectent la dégradation de la DCO, surtout au deuxième étage, mais ne posent pas de problème de niveau de rejet en raison du facteur dilution. Il apparaît que la nitrification peut être améliorée en augmentant la surface du premier étage plutôt que celle du deuxième étage. Par exemple, en accord avec les relations de nitrification observées, une surface de 1,5 $m^2.EH^{-1}$ au premier étage permettrait, en sortie de station, de garantir un rejet de 6 $mg.l^{-1}$ en NK. Cependant, cela mettrait aussi l'accent sur la nécessité d'une bonne distribution à la surface des filtres du premier étage. Le débit d'alimentation au premier étage est un point crucial pour assurer une bonne répartition des eaux et des dépôts à la surface des filtres. Des études sont encore nécessaires pour déterminer les conditions optimum d'alimentation (débit, volume, fréquence des bâchées) dans le but d'améliorer la nitrification. Cependant, en raison de l'expérience déjà acquise, un débit d'alimentation de 0,5 $m^3.m^{-2}.h^{-1}$ sur le filtre du 1er étage en service paraît être un minimum. Un débit de 0,6.$m^{-2}.h^{-1}$ permettrait même de s'approcher des valeurs hautes de vitesses d'infiltration observées sur des filtres de premier étage (Molle, 2003). Un tel débit permettrait aussi d'assurer une répartition optimale des dépôts à la surface des filtres.

Les dépôts, partie intégrante de l'activité biologique des filtres, se minéralisent à environ 60 %, conduisant à une augmentation de la hauteur de boues stockées sur les filtres du 1er étage de 1,5 cm par an environ. Ces dépôts doivent être évacués lorsqu'ils atteignent une hauteur de 20 cm, soit au bout de 10-15 ans. Ils peuvent être valorisés en agriculture tant qu'il n'y a pas d'industrie connectée au réseau. ❐

Remerciements

Les auteurs remercient l'Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse pour le soutien financier, les SATESE pour leur contribution à l'acquisition des données, et H. Zowal et H. Burnet pour leur assistance.

Résumé

Compte tenu du fort développement, ces dernières années en France, de la filière de filtres plantés de roseaux à écoulement vertical alimentés en eaux usées brutes, une étude a été réalisée sur plus de 80 stations dans le but d'observer les performances de cette filière de traitement et de corriger d'éventuelles erreurs de dimensionnement. Cette étude montre la parfaite adéquation de ces systèmes aux objectifs de dégradation de la matière carbonée, rétention des MeS et nitrification qui étaient prioritairement visés. Les performances épuratoires en fonction des charges appliquées et les caractéristiques des stations ont été analysées. La nitrification est l'étape la plus sensible du procédé et les performances de nitrification en fonction du dimensionnement ont été étudiées. De tels systèmes, bien dimensionnés, peuvent atteindre des concentrations de sortie de 60 mg DCO.L^{-1}, 15 mg MeS. L^{-1} et 8 mg NKj.L^{-1} pour une surface de 2 à 2,5 $m^2.EH^{-1}$. Les boues déposées à la surface des filtres du premier étage doivent être évacuées à une échéance de 10-15 ans.

Abstract

The development of Vertical Flow Constructed Wetlands treating raw wastewater in France has proved to be very successful over the last 20 years. In view of this a survey was carried out on more than 80 plants in order to study their performance and correct the design if necessary. This study shows that such systems perform well in terms of respecting the goals of both low level outlet COD and SS and nitrification. Pollutant removal performance in relation to the loads handled and the specific characteristics of the plants were investigated. Nitrification is shown to be the most sensitive process in such systems and performance in relation to sizing is discussed. Such systems, if well designed, can achieve an outlet level of 60 $mg.l^{-1}$ in COD, 15 $mg.l^{-1}$ in SS and 8 $mg.l^{-1}$ in TKN with an area of 2 to 2.5 $m^2.PE^{-1}$. The sludge deposit on the first stage must be removed after about 10-15 years.

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. 315-322.

LIÉNARD, A., 1987, Domestic wastewater treatment in tanks with Emergent Hydrophytes : latest results of a recent plant in France, *Wat. Sci. Tech.*, 19, (12), p. 373-375.

LIÉNARD, A., BOUTIN, C., ESSER, D., 1990a, Domestic wastewater treatment with emergent hydrophyte beds in France, *in Constructed Wetlands in Water Pollution Control (Adv. Wat. Pollut. Control n° 11),* Ed. COOPER P.-F. ET FINDLATER B.-C., Pergamon Press, Royaume-Uni, p. 183-192.

LIÉNARD, A., ESSER, D., DEGUIN, A., VIRLOGET, F., 1990b, Sludge dewatering and drying in reed beds : an interesting solution ? General investigation and first trials in France, *in Constructed Wetlands in Water Pollution Control (Adv. Wat. Pollut. Control n° 11),* Ed. COOPER P.-F. ET FINDLATER B.-C., Pergamon Press, Royaume-Uni, p. 257-267.

LIÉNARD, A., BOUTIN, C., ESSER, D., 1998, France, *in Constructed wetlands for wastewater treatment in Europe*, Ed. VYMAZAL, J., BRIX, H., COOPER, P.-F., GREEN, M.-B., HABERL, R., 1998, Backhuys Publishers, Leiden, Pays-Bas, p. 53-168.

MOLLE, P., 2003, *Filtres plantés de roseaux : limites hydrauliques et rétention du phosphore*, thèse de doctorat, spécialité Génie des procédés, université de Montpellier-Cemagref, 267 p.