

Les filtres plantés de roseaux : évolution de la recherche et tendances actuelles

Le procédé par filtres plantés de roseaux est un système développé en France par Irstea à la fin des années 1990 pour filtrer et épurer les eaux usées avant rejet dans le milieu naturel. Cet article se propose de présenter l'évolution de la recherche sur ce type de filière, depuis la mise au point jusqu'aux développements actuels.

L'usage des végétaux aquatiques dans les filières de traitement des eaux provient de l'observation du rôle des zones humides naturelles dans la préservation de la qualité des milieux aquatiques. Si l'utilisation de zones humides naturelles pour le traitement des eaux usées remonte à une centaine d'années, cela s'apparentait plus à un déversement pratique, induisant une dégradation de la zone humide, qu'un système de traitement optimisé. L'amélioration des connaissances liées au fonctionnement des zones humides naturelles a permis, dans les années 1950, de s'orienter vers la création de marais artificiels (en anglais, *constructed wetlands*) pour le traitement des eaux usées. Dr Käthe Seidel, en Allemagne, fut la première à expérimenter ce type de filières dès les années 1960. Les premières réalisations ont révélé un potentiel intéressant pour l'assainissement des petites collectivités, mais nécessitaient des études plus poussées pour fiabiliser le traitement et la longévité de la filière. La difficulté, par rapport aux systèmes de traitement classiques, réside dans le fait que les marais artificiels sont des écosystèmes complexes qu'il n'est pas possible d'étudier par le biais d'une seule discipline. L'hydraulique, la chimie, la microbiologie, la physiologie végétale, sont autant de domaines scientifiques qu'il convient d'étudier pour comprendre les mécanismes et équilibres qui gèrent ces systèmes.

En France, l'expérience a démarré en 1978 par une évaluation du Cemagref (ancienne appellation d'Irstea) d'un système réalisé par Dr Seidel pour un site d'accueil d'enfants composé de cinq étages de traitement en série (association de filtres à écoulement vertical et horizontal). Alimenté en eaux usées brutes, ce système, bien qu'amélioré dans une seconde phase, nécessitait d'être optimisé pour être réellement compétitif. Néanmoins, l'intérêt de la filière était

certain et fut amélioré lors des expériences suivantes : Pont Rémy (qui a vu l'arrivée du siphon, 1985), puis Gensac la Pallue (1987), dimensionnée par le Cemagref, proche des bases de dimensionnement du première étage de la filière classique actuelle, ont servi de base de lancement d'une recherche encore en évolution.

Cet article se propose de présenter l'évolution de la recherche en France, sur ce type de filière, depuis la mise au point jusqu'aux développements actuels. Les différentes approches scientifiques seront présentées en parallèle des apports opérationnels qu'elles ont permis.

La mise au point de la filière : une recherche pragmatique

Depuis les premières réalisations jusqu'au début des années 2000, la filière a été évaluée principalement par des bilans journaliers à chaque étape de traitement. Si cette méthode considère le filtre comme une boîte noire et ne donne pas accès à la quantification des mécanismes impliqués au sein du système, elle a permis néanmoins d'apporter des éléments de performances et de limites et, par conséquent, de poser des premières règles de dimensionnement. Ces premières règles fixent en 1987 (Boutin, 1987) une surface à 2,5 m²/EH¹. Pendant près de quinze ans, Irstea, avec le support des SATESE², a réalisé et analysé ce type de données de manière à multiplier les cas de figure (types de réseau, conception des filtres, conditions climatiques...). En 2004

1. EH : équivalent-habitant : unité de mesure permettant d'évaluer la capacité d'une station d'épuration qui se base sur la quantité de pollution émise par personne et par jour (60 g DBO, par jour).
2. Service d'assistance technique à l'exploitation des stations d'épuration.

① FONCTIONNEMENT DE LA FILIÈRE FILTRES PLANTÉS DE ROSEAUX (FPR)

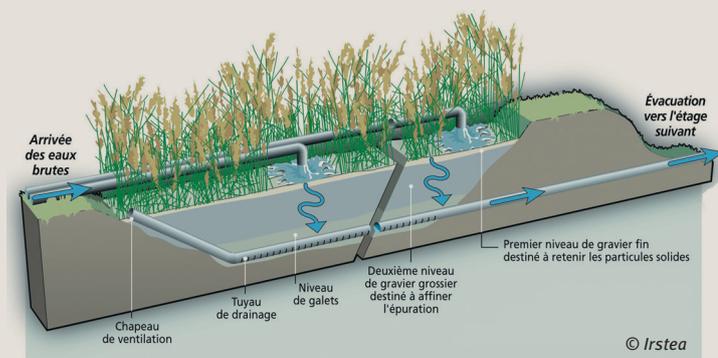
La filière générique de filtres plantés de roseaux à écoulement vertical pour le traitement des eaux usées domestiques se compose de deux étages de traitement composés de trois filtres en parallèles au premier étage et deux au second étage. Les figures ① et ② permettent de visualiser la configuration des filtres ainsi que les granulométries des matériaux utilisés à chaque étage.

L'originalité de la filière française est d'accepter des eaux usées brutes directement à la surface des filtres. Cela permet un traitement conjoint des eaux et des boues, facilitant grandement la gestion de ces dernières. Ce choix n'était pas évident au départ, mais le succès de la filière en a fait le procédé majoritaire pour les moins de 2 000 équivalents habitants (EH) de nos jours, avec plus de 2 500 stations en traitement d'eaux usées domestiques actuellement. 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 la 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. Par la suite, l'effluent percole au sein du filtre, où la biomasse épuratrice se développe, pour être envoyé sur un deuxième étage de traitement afin d'affiner l'épuration, particulièrement en ce qui concerne la nitrification. Les surfaces nécessaires à chaque étage, qui peuvent être adaptées en fonction du climat, le niveau de rejet requis, la charge hydraulique (eaux claires parasites, réseaux unitaire...), sont de $1,2 \text{ m}^2 \cdot \text{EH}^{-1}$ pour l'ensemble des trois filtres du premier étage et $0,8 \text{ m}^2 \cdot \text{EH}^{-1}$ pour les deux filtres du deuxième étage.

Les filtres sont alimentés par banchées (distribution d'une lame d'eau de 3 à 5 cm à fort débit) pour assurer une distribution optimum des eaux et des MES sur la totalité de la surface du filtre ainsi que pour améliorer l'oxygénation. À ce titre, le débit d'alimentation des banchées doit être strictement supérieur à $0,5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ par m^2 de filtre en alimentation avec un point d'alimentation pour 50 m^2 maximum au premier étage. Au deuxième étage, un réseau de distribution, en charge lors des alimentations, est utilisé pour répartir l'effluent qui contient, dès lors, peu de MES, retenues sur les filtres du premier étage.

Quand la dénivellée entre l'entrée et la sortie de la station est suffisante, la station peut fonctionner sans apport d'énergie. Cette configuration est connue pour permettre une bonne dégradation de la matière carbonée, retentions des MES ainsi qu'une nitrification quasi complète.

① Schéma d'un premier étage de filtre



② Profils granulométriques.

1 ^{er} étage	2 ^e étage
> 30 cm de gravier fin (2-8 mm)	> 30 cm de sable ($0,25 \text{ mm} < D_{10} < 0,40 \text{ mm}$)
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

(Molle *et al.*, 2004), un nombre important de bilans 24 h a été analysé de manière statistique pour faire ressortir des informations plus généralisables au contexte des petites collectivités. Les dimensionnements en m^2/EH ne permettant pas d'adapter le filtre aux différents contextes rencontrés sur le territoire, l'enquête de 2004 a analysé les données en terme de charge organique et hydraulique sur le filtre en fonctionnement. Cette enquête a non seulement permis de confirmer les bases de dimensionnement, mais aussi de fixer les priorités de recherche nécessaires à l'époque.

Les bilans effectués sur la filière classique à deux étages à écoulement vertical ont permis de bien encadrer le rôle de chaque étage.

La détermination des performances épuratoires de chaque étape de traitement (figures ③ et ④), pour différentes charges organiques et parfois hydrauliques, nous a permis de préciser les potentialités du système classique à deux étages à écoulement vertical. Pour des charges nominales, un dimensionnement de $1,2 \text{ m}^2 \cdot \text{EH}^{-1}$ au premier étage et $0,8 \text{ m}^2 \cdot \text{EH}^{-1}$ au deuxième étage, permet de garantir des rejets de $90 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ en DCO³, $15 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ en MES et $12 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ en NK⁴. Les charges nominales de $300 \text{ g DCO m}^{-2} \cdot \text{j}^{-1}$, $150 \text{ g MES m}^{-2} \cdot \text{j}^{-1}$, $25-30 \text{ g NK m}^{-2} \cdot \text{j}^{-1}$

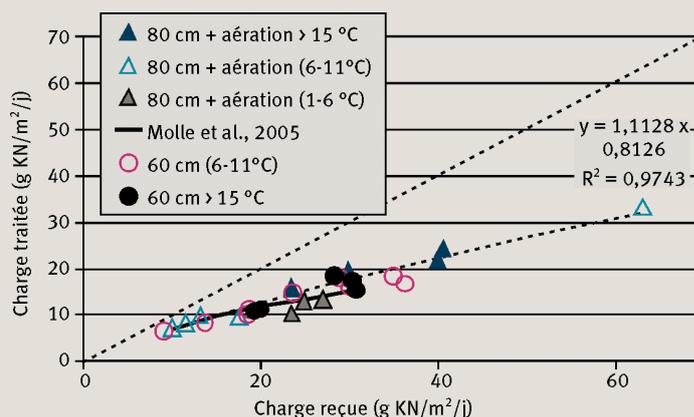
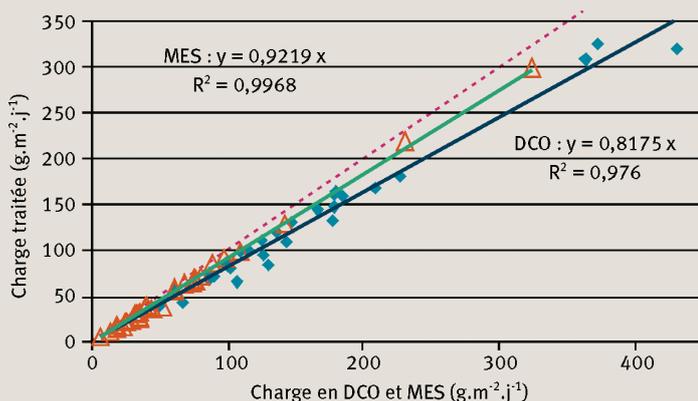
et une charge hydraulique de $0,37 \text{ m} \cdot \text{j}^{-1}$ sur le filtre du premier étage en fonctionnement ont alors été précisées pour garantir ces niveaux de rejet sur le système français. Il restait cependant des questionnements nécessaires à étudier pour améliorer et fiabiliser le système.

D'une approche pragmatique vers une approche déterministe

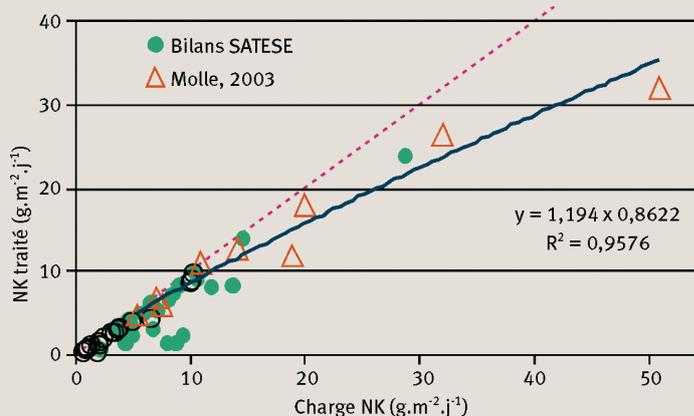
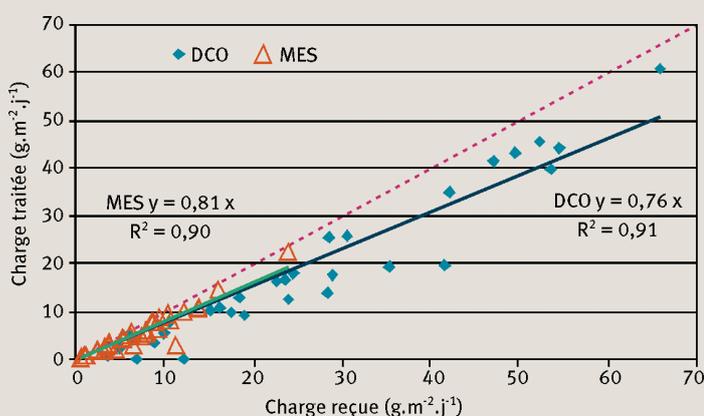
Si l'approche pragmatique a permis de fiabiliser le dimensionnement et crédibiliser la filière classique, certaines questions restaient en suspens. Plusieurs axes de recherche étaient nécessaires comme le comportement des filtres à des conditions extrêmes (limites hydrauliques en temps de pluie, limites organiques pour des variations de charge) et la nécessaire évolution de la filière pour l'amélioration des performances (dénitrification, traitement du phosphore...). De même, le succès de la filière a généré des intérêts à mixer les filtres avec d'autres systèmes de traitement (lagunage naturel, lits bactériens, disques biologiques...). L'évaluation par bilans 24 h ne permettant pas, dans des délais et à des coûts raisonnables, de répondre à l'ensemble des cas, une étude plus détaillée des mécanismes était nécessaire pour faire face à ces enjeux. Depuis le début des années 2000, l'étude plus détaillée des mécanismes a permis de faire évoluer la filière dans un certain nombre de domaines.

3. Demande chimique en oxygène.
4. NK : azote ammoniacal et organique.

3 Performances du premier étage de traitement.



4 Performances du deuxième étage de traitement.



▶ Limites hydrauliques

Bien que recommandés à l'origine pour des réseaux séparatifs, de nombreux filtres reçoivent des surcharges hydrauliques en temps de pluie. Si la filière semblait être robuste aux surcharges hydrauliques, son dimensionnement ne les prenait pas en compte. L'enjeu est majeur pour les collectivités compte tenu de la nécessité croissante, pour elles, de devoir gérer et traiter les eaux pluviales. La mise en séparatif ne résout pas forcément tous les problèmes (connexions pluviales non maîtrisées), coûte cher, et le traitement des eaux pluviales a également un coût.

La question de savoir comment les filtres doivent être conçus et dimensionnés pour traiter également le temps de pluie, sans dysfonctionnement, apporte une réponse économique et environnementale intéressante.

L'acceptation des surcharges hydrauliques doit se faire au regard de la capacité d'un filtre à infiltrer des eaux en son sein tout en évitant un impact direct sur le risque de colmatage du système par :

- un accroissement du dépôt organique en raison des flux importants de MES drainées par les eaux de pluie,
- un temps de noyage de la surface des filtres plus long, lui-même dépendant de la hauteur des dépôts.

Or, la garantie d'un fonctionnement pérenne de l'installation est liée à la capacité du système à fonctionner en aérobie. Compte tenu de l'importance des phénomènes de diffusion sur l'oxygénation des filtres, il est évident

que la gestion des surcharges hydrauliques (volume et fréquence des bâchées) et du temps de dénoyage de la surface des filtres vont conditionner la pérennité du bon fonctionnement biologique des filtres.

Les recherches ont évolué vers des mesures systématiques des vitesses d'infiltration des bâchées, des conditions d'humectation du milieu et d'aération. Cela a permis de préciser les limites de cette filière tout en garantissant des rendements épuratoires satisfaisants (Molle *et al.*, 2006). Les limites hydrauliques établies sont basées sur des critères liés à différents processus physiques mis en évidence :

- la période critique en termes de capacité d'infiltration. Si le rôle mécanique des roseaux permet une amélioration des capacités d'infiltration lors de la croissance de leur partie aérienne, la période février-mars (avant la repousse des roseaux) connaît les contraintes les plus sévères en termes d'infiltration ;
- l'âge de la station, *via* la hauteur de dépôt, joue également sur les capacités d'infiltration ;
- la fréquence et l'ampleur des épisodes pluvieux ont également une incidence sur les modifications de cette capacité. Ce phénomène, lié en partie au taux d'humectation du milieu filtrant, permet également de comprendre comment adapter la gestion des bâchées et des périodes d'alimentation et de repos.

À partir de l'étude de ces processus et de leur impact sur l'activité biologique, des limites ont été établies de manière à fiabiliser la pérennité du système. Ces limites

1 Limites hydrauliques.

Hauteur de dépôt (cm)	0-10 cm		10-25 cm	
	1/semaine	1/mois	1/semaine	1/mois
m.j ⁻¹	1,80	3,50	0,90	1,80
m.h ⁻¹	0,25	0,25	0,11	0,11

représentées dans le tableau 1 dépendent donc de l'âge de la station et de la fréquence des épisodes pluvieux.

Il est cependant important de préciser que ces surcharges hydrauliques concernent uniquement celles issues ponctuellement lors de temps de pluie et non d'eaux claires parasites permanentes ou de surcharges hydrauliques prolongées, comme celles issues de la fonte des neiges, par exemple.

Élimination des nutriments

Si la configuration classique permet de très bons niveaux de rejet en ce qui concerne la dégradation aérobie des polluants (DCO, MES, nitrification), en revanche, elle n'est pas adaptée pour des normes strictes en terme d'azote total et de phosphore. Pour des zones sensibles à l'eutrophisation, il a été nécessaire de modifier la filière en y introduisant un étage de filtre à écoulement saturé (filtre à écoulement horizontal ou vertical saturé). C'est une combinaison qui a tendance à se généraliser en France pour les stations de taille importante (de 1 000 à 5 000 EH), là où les contraintes sur les nutriments, surtout en termes de phosphore, sont justifiées.

Dénitrification

L'étude de la dénitrification a nécessité de déterminer correctement les cinétiques et leur variation suivant les conditions d'oxydoréduction, de température et de source de carbone dans les filtres plantés de roseaux. Des techniques de traçage hydraulique couplées à des suivis continus de performance, de conditions d'oxydoréduction et de détermination bactérienne (méthodes FISH, *Fluorescence In Situ hybridization*) ont permis de préciser les règles de dimensionnement de filière permettant un traitement de l'azote global. On notera, par exemple, les limites de la filière verticale (1,2 m²/EH) + horizontale (2 m²/EH) pour un traitement performant en toute saison (figure 5). Le traitement global de l'azote en toute saison nécessite la mise en place d'un étage saturé (horizontal ou vertical) entre les deux étages à écoulement vertical de la filière classique, avec recirculation des eaux de sortie de station à l'entrée de l'étage saturé. Placer l'étage saturé après une filière classique à écoulement vertical ne permettra pas une dénitrification totale en raison d'un manque de carbone : pour une dénitrification optimale, un ratio DCO/N-NO₃ supérieur à 3 est nécessaire sur un filtre à écoulement horizontal.

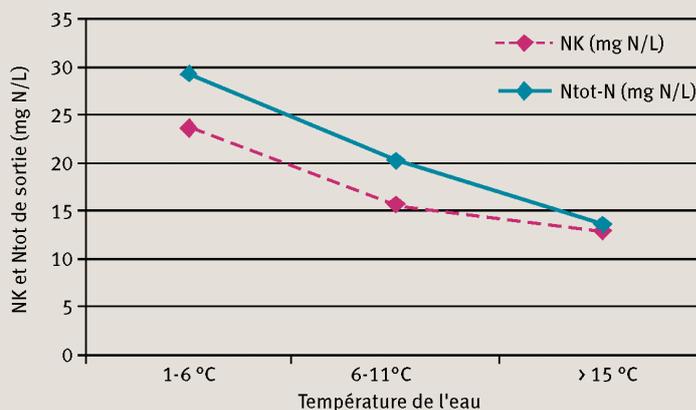
Traitement du phosphore

Le traitement du phosphore par filtre planté de roseaux est une problématique qui est abordée sous différents angles depuis plus d'une dizaine d'années. Si le rôle des végétaux dans l'exportation des nutriments est négligeable dans ces filières, les voies possibles d'élimination

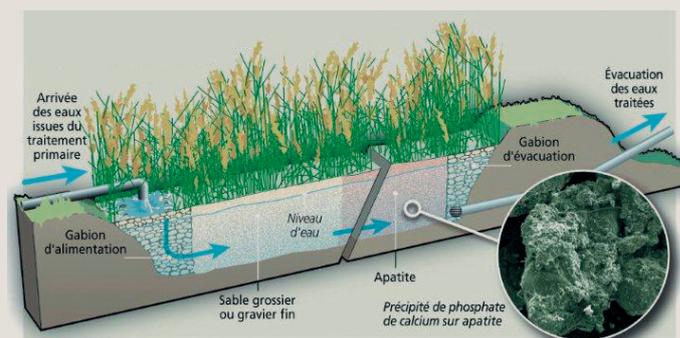
concernent la mise en place d'une déphosphatation physico-chimique ou l'utilisation de matériaux spécifiques par mécanismes d'adsorption et de précipitation de surface. Le renvoi des phosphates de fer sur un filtre planté de roseaux nécessite de maîtriser correctement (y compris en temps de pluie) le potentiel d'oxydoréduction du dépôt pour éviter des relargages. Les modalités de remobilisation du phosphore précipité sont actuellement à l'étude pour préciser les règles de gestion assurant un contrôle des précipités formés.

La voie de l'utilisation de matériaux spécifiques a conduit à se focaliser en détail sur les mécanismes de sorption de différents matériaux. Utilisés dans des filtres saturés, l'objectif est de retenir les orthophosphates de manière pérenne sur l'âge de vie de la station. Les études menées à Irstea ont abouti à travailler avec une phosphorite (roche naturelle riche en apatite), en définissant les règles de choix du matériau, de dimensionnement et de gestion du système (figure 6, Molle *et al.*, 2012). Un des points

5 Niveaux de rejet atteignables d'une filière « vertical-horizontale » suivant la température de l'eau.

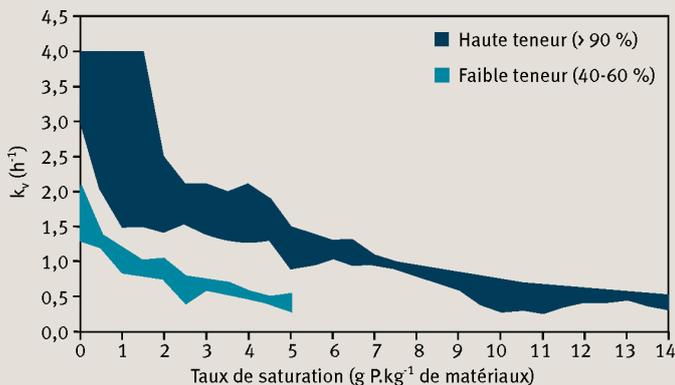


6 Schéma d'un filtre à écoulement horizontal.



© Irstea

7 Évolution de la constante volumique de rétention (k_v) en fonction de l'état de saturation pour différentes qualités de phosphorites alimentées par l'eau du robinet.



► clés du dimensionnement est de bien définir l'évolution des cinétiques de rétention au cours de l'âge de vie du système (figure 7).

Cela a permis la mise au point d'une filière performante de déphosphatation permettant de garantir des niveaux de rejet inférieurs à 1 mg P/L.

Rôle du végétal

La multiplicité du rôle des végétaux dans ces systèmes de traitement (surface de développement pour la biomasse, aération, assimilation de nutriments, isolation, biodiversité...) doit être analysée au regard des différents processus biologiques et physiques ayant lieu dans ces milieux. Si leur rôle en termes d'aération ou d'exportation de nutriment peut être considéré comme négligeable, leur rôle mécanique (acceptation des temps de pluie, prévenance du colmatage) et leur rôle d'évapotranspiration (séchage de la matière organique) sont indispensables et méritaient d'être étudiés pour mieux définir les limites des systèmes et préciser leur modalité de gestion. Le rôle d'évapotranspiration est notamment de première importance pour les lits de séchage de boues plantés de roseaux (LSPR), que ce soit pour les boues activées ou

les matières de vidange. Les recherches nous ont poussés à bien définir l'évolution du coefficient cultural⁵ du *Phragmites australis* au cours d'une saison, ainsi que de l'expression du coefficient de stress⁶ en fonction de la teneur en eau dans le milieu (figure 8).

La détermination de l'évapotranspiration réelle des végétaux apporte des éléments indispensables à l'aide à la gestion des lits de séchage de boues plantés. Cela permet de fixer, en fonction de la saison, la période de repos nécessaire au bon fonctionnement des installations.

Association de filières

Outre l'évolution des filières de filtres plantés de roseaux, leur association avec d'autres procédés a été, et reste encore, un enjeu important pour deux objectifs majeurs :

- la réhabilitation d'un parc vieillissant de lagunage naturel (de l'ordre de 2 500 lagunes en France),
- la recherche de compacité de la filière en association avec des procédés conventionnels tels que les lits bactériens et les disques biologiques. Ces associations sont à l'étude dans le cadre du groupe EPNAC⁷, pour certains constructeurs.

Les études menées sur les associations avec le lagunage naturel avaient originellement deux objectifs :

- l'accroissement de la capacité de traitement de la station,
- l'amélioration des niveaux de rejet (DBO₅⁸, DCO, MES, nitrification).

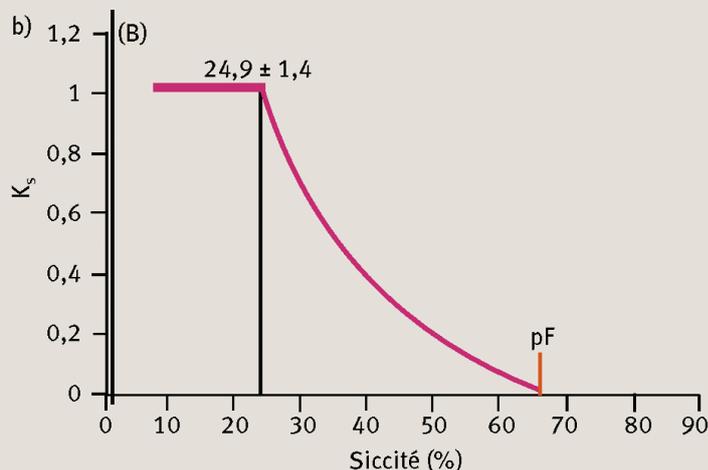
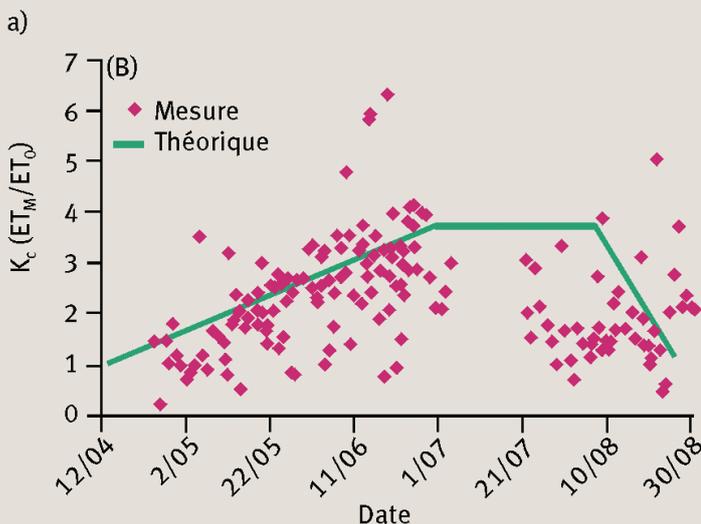
5. Le coefficient cultural permet de corriger l'évapotranspiration maximale de référence en fonction de la culture utilisée.

6. Le coefficient de stress permet de moduler l'évapotranspiration maximale de la culture en fonction de stress (chimique, hydrique). Dans le cas en question, il s'agit de stress hydrique.

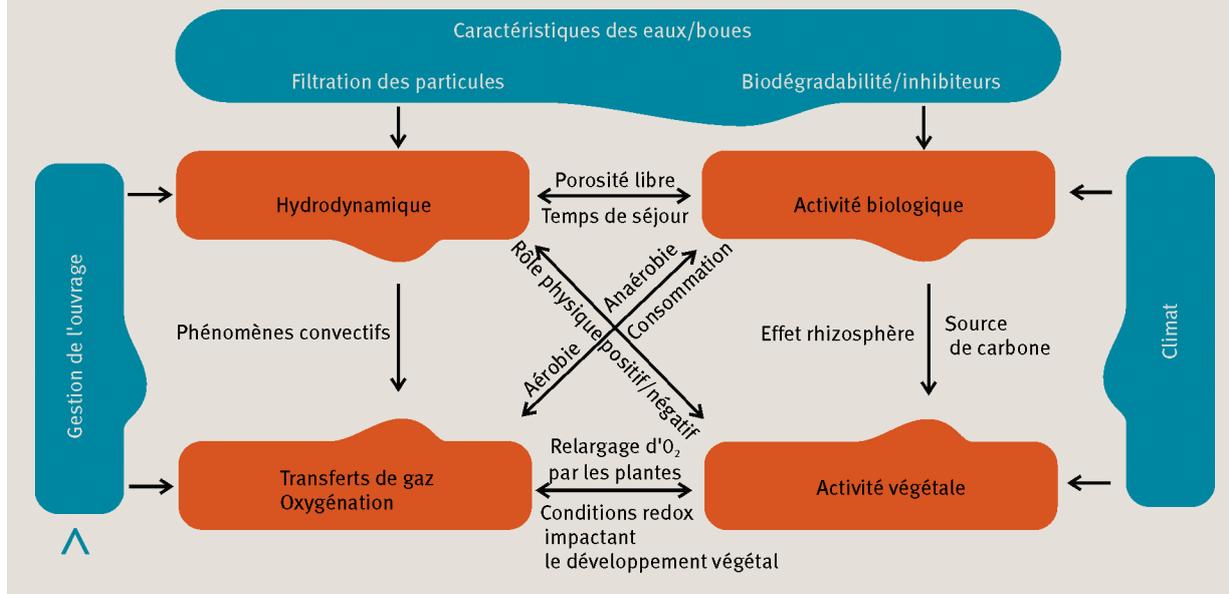
7. Évaluation des procédés nouveaux d'assainissement des petites et moyennes collectivités.

8. Demande biochimique en oxygène sur cinq jours.

8 a) Évolution du coefficient cultural (K_c) au cours de la saison et b) du coefficient de stress (K_s) en fonction de la teneur en eau.



9 Principales interactions entre les différents processus impliqués dans les FPR et LSPR.



Si l'étude de l'accroissement de la capacité s'est résolue facilement par la mise en place d'un premier étage de FPR à écoulement vertical en amont des lagunes (accroissement d'un facteur 2 en métropole), l'amélioration des niveaux de rejet nécessitait une étude plus fine des mécanismes de colmatage par les algues et leur cinétique de séchage sur les filtres. Réalisée dans le cadre d'un programme Life, l'étude de l'impact des algues, du choix des matériaux (sables roulés, concassés) et de la gestion sur le colmatage et les performances des filtres ont permis de fixer les règles de dimensionnement de la filière (Boutin *et al.*, 2007).

L'intérêt de conserver tout ou partie des lagunes, en termes de réhabilitation, réside également dans leur rôle épuratoire sur les germes pathogènes, le phosphore et l'azote global ainsi que leur potentielle utilisation pour amortir des à-coups hydrauliques des temps de pluie.

La nécessaire approche de modélisation

L'approche déterministe, depuis le début des années 2000, a permis d'optimiser les filières de traitement en termes de dimensionnement et de gestion. En revanche, elle ne répond pas toujours à la demande sociétale lorsqu'il s'agit de faire évoluer les filières vers des domaines d'application (traitement des eaux pluviales, eaux industrielles, traitement des polluants émergents...) ou des conceptions (recherche de compacité) très différents. Pour cela, une approche prédictive est menée en parallèle, depuis peu, par la modélisation dynamique de l'ensemble des processus impliqués dans ces systèmes. Cette approche est rendue nécessaire compte tenu de la complexité des interactions entre les différents processus impliqués dans l'équilibre de ces systèmes (figure 9).

L'optimisation des filières requiert une telle approche. Elle permet, à l'heure actuelle, de représenter correctement les principaux processus comme l'hydrodynamique (figure 10a) ou l'évolution globale de la DCO et des formes azotées (figure 10b pour les nitrates). En revanche,

cette approche nécessite encore des développements pour mieux prendre en compte l'hétérogénéité des dépôts organiques de surface sur les processus mis en œuvre (hydrodynamique, transferts d'oxygène...).

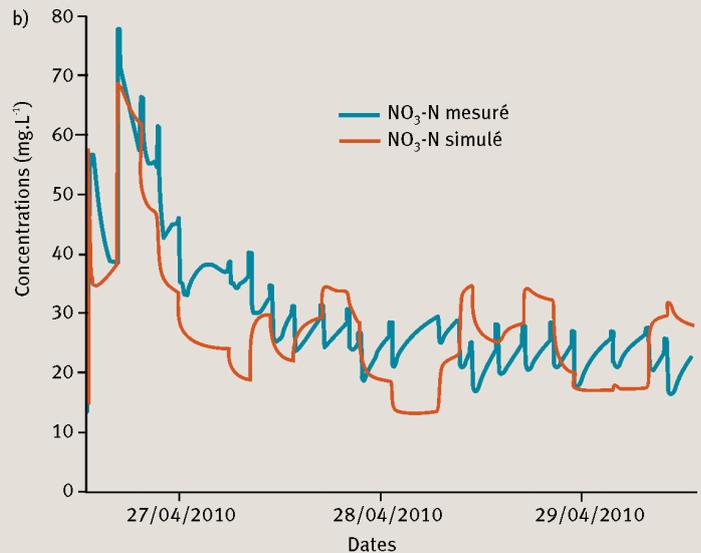
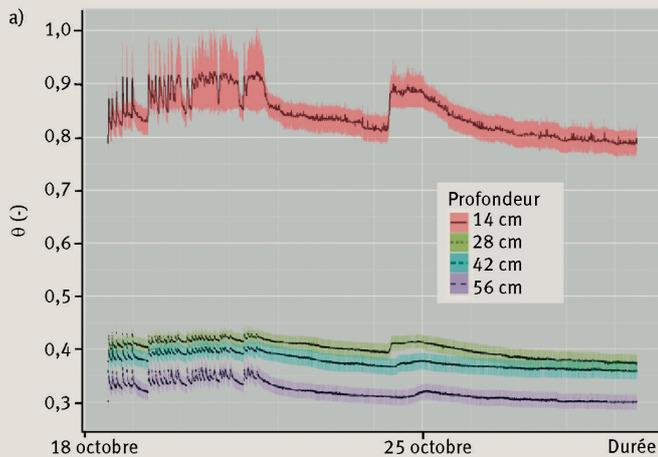
Si la modélisation ne peut encore être utilisée pour le dimensionnement par des ingénieurs, elle apporte des renseignements cruciaux pour la compréhension des phénomènes et la détermination des limites des filtres, que ce soit pour les paramètres globaux ou les micropolluants. Elle permet d'encadrer de nouveaux développements, mais nécessite encore un œil d'expert. Le transfert d'outils directement utilisables par les ingénieurs pour le dimensionnement est en revanche en cours de développement par l'élaboration de modèles dynamiques simplifiés qui eux-mêmes s'appuient sur les études de modélisations mécanistiques. Ces modèles simplifiés ont pour objectif de faciliter la tâche des constructeurs et maîtres d'œuvre pour dimensionner ou critiquer des dimensionnements.

Conclusion

Si la filière de filtres plantés de roseaux permet un traitement aérobie fiable, les recherches menées ces dernières années ont permis de faire évoluer la filière pour répondre à des problématiques non maîtrisées jusqu'alors (réseau unitaire, azote, phosphore, association de procédés, réduction de l'emprise au sol...). En l'espace d'une dizaine d'années, les filières filtres plantés de roseaux se sont imposées comme la filière phare des petites collectivités et représentent actuellement près de 15 % du parc de stations. L'évolution de la recherche au cours des vingt dernières années accélère l'acquisition de connaissances et, par conséquent, élargit le domaine d'application. L'utilisation des techniques extensives dans le futur devrait continuer d'évoluer compte tenu de l'intérêt de développer des filières d'assainissement peu impactantes d'un point de vue environnemental, comme le montrent les études relatives à l'analyse du cycle de vie des systèmes d'assainissement (Machado

10 Modélisation dynamique d'un premier étage de filtres plantés de roseaux (Morvannou, 2012) :

a) teneur en eau à différentes profondeurs, b) teneur en nitrates en sortie de premier étage.



► *et al.*, 2007). En France, on notera des applications diverses, en cours de développement ou de validation, telles que :

- le traitement des eaux urbaines de temps de pluie (surverses de déversoir d'orage, eaux pluviales strictes) (projet ANR Segteup : www.segteup.org),
- le traitement des matières de vidange (<http://epnac.irstea.fr>),
- les filières filtres plantés pour l'assainissement non collectif,
- l'évaluation des performances de filières extensives vis-à-vis des micropolluants et leur adaptation au traitement

tertiaire des micropolluants à l'aide de matériaux adsorbants installés au sein de certains types de filtres plantés,

- le traitement d'effluents spécifiques (viticoles, eaux blanches, lixiviats de décharge...).

L'auteur

Pascal MOLLE

Irstea, centre de Lyon, UR MALY,
Milieux aquatiques, écologie et
pollutions, 5 rue de la Doua, CS 70077,
69626 Villeurbanne Cedex
✉ pascal.molle@irstea.fr

QUELQUES RÉFÉRENCES CLÉS...

- BOUTIN, C., LIÉNARD, A., MOLLE, P., 2007, *Les filtres plantés de roseaux, le lagunage naturel et leurs associations : comment ? pourquoi ?*, Fiches Sinfotech, Cemagref, 6 p.
- MACHADO, A.-P., URBANO, L., BRITO, A.-G., JANKNECHT, P., SALAS, J.-J., NOGUEIRA, R., 2007, Life cycle assessment of wastewater treatment options for small and decentralized communities, *Water Science and Technology*, 56 (3), p. 15-22.
- MOLLE, P., LIÉNARD, A., BOUTIN, C., MERLIN, G., IWEMA, A., 2004, Traitement des eaux usées domestiques par marais artificiels : état de l'art et performances des filtres plantés de roseaux en France, *Ingénieries-EAT*, n° spécial, p. 23-32.
- MOLLE, P., HAROUIYA, N., PROST-BOUCLE, S., MORLAY, C., ESSER, D., MARTIN, S., BESNAULT, S., 2012, *Déphosphatation des eaux usées par filtres plantés garnis de phosphorites : recommandations pour le développement de la filière*, 47 p., en ligne sur epnac.irstea.fr
- MORVANNOU, A., 2012, *Dynamic modelling of nitrification in vertical flow constructed wetlands*, PhD thesis, Université Catholique de Louvain (Belgique) - Irstea, 183 p.

► Consulter l'ensemble des références
sur le site de la revue www.set-revue.fr



Station d'épuration à filtres plantés de roseaux (Yvelines).