

Filtre à écoulement vertical, non saturé - saturé

OBJECTIFS ET LIMITES DE L'EVALUATION

Le filtre vertical non saturé – saturé est un procédé de traitement des eaux usées relativement récent, proposé en France par plusieurs constructeurs et qui peut être amené à se développer en particulier au vu des contraintes de réduction du foncier disponible.

Cette note s'inscrit dans une série d'études menées par l'atelier du Groupe de Travail national EPNAC sur la « veille des procédés nouveaux ». Cet atelier a été initié en 2012, en réponse à la multiplication et à la rapidité d'évolution des procédés d'assainissement collectif des petites et moyennes collectivités.

Ces travaux visent à apporter des éléments de critique indépendants sur des nouveaux procédés de traitement, le plus en amont possible, de façon à cadrer et à accompagner leur déploiement lorsque ceux-ci présentent un intérêt.

L'analyse s'appuie sur les données de conception et les consignes d'exploitation, transmises par les constructeurs et complétées par plusieurs séries d'échanges « constructeurs-atelier » au cours de l'année 2015.

La particularité de cette note est de ne pas cibler un unique constructeur mais de réaliser une **note générique sur le procédé de traitement « filtre à écoulement vertical non saturé – saturé »**, trois constructeurs ayant été identifiés à ce jour comme proposant la filière sur le plan national.

L'objectif est ici d'établir, à la demande des maîtres d'ouvrages et des techniciens, une **première analyse des points forts et des limites** de la filière, via les bases de dimensionnement présentées par les constructeurs, les garanties de résultats, les modalités et les coûts d'exploitation.

Pour chaque critère d'évaluation de cette fiche d'analyse, les informations fournies par les constructeurs sont dans un premier temps exposées, avant que ne soient présentés les éléments d'analyse du groupe de travail : intérêts et points de vigilance de la filière, et autres nota.

LES AUTEURS

Membres de l'atelier de travail EPNAC sur la veille des nouveaux procédés :

Organismes	Prénoms	Noms
Agence de l'eau – Loire Bretagne	Yannick	MERCIER
Agence de l'eau – Rhin Meuse	Nicolas	VENANDET
SATESE 07/26	David	MARTEAU
SATESE 24	Marc	BOUCHER
SATESE 42	Virginie	TOURON
SATESE 16	Yoann	LAVAUD
SATESE 46	Patrick	LABESCAU
SATESE 48	Christophe	BONNET
SATESE 82	Pascal	BOURDONCLE
Irstea	Pascal	MOLLE
Irstea	Stéphanie	PROST-BOUCLE
Irstea, coordinatrice du GT EPNAC	Marie-Amélie	DUROT

En plus des membres de l'atelier, des SATESE détenteurs de filières à écoulement vertical non saturé – saturé sur leur territoire (et pratiquant des suivis) ont été conviés à participer à l'élaboration de cette note.

Autres membres associés	Prénoms	Noms
SATESE 34	Patrick	BEZIAT
SATESE 34	Jean-Pierre	SAMBUCO
SATESE 04	Laurent	MONTEL
SATESE 64	Guy	ALAPHILIPPE

LES CORRESPONDANTS

Onema : Alice Reuillon, Direction de l'Action Scientifique et Technique,
alice.reuillon@onema.fr

Lauriane Vasseur, Direction de l'Action Scientifique et Technique,
lauriane.vasseur@onema.fr

Irstea : Pascal Molle, Equipe Epuraton, Unité de Recherche Milieux Aquatiques, Ecologie et Pollutions,
pascal.molle@irstea.fr

Droits d'usage :	Accès libre
Couverture géographique :	France
Niveau géographique :	National
Niveau de lecture :	Professionnels, experts, <i>décideurs</i>
Nature de la ressource :	Rapport final

PRESENTATION DE LA FILIERE – PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Le filtre à écoulement vertical non saturé - saturé, adapté à l'assainissement collectif des petites et moyennes collectivités, repose sur le principe du traitement des eaux par filtres plantés de roseaux (FPR) à écoulement vertical.

L'eau percole verticalement au sein d'un filtre, composé de deux « réacteurs » superposés : une **partie non saturée (aérobie)** en surface et une **partie saturée (anoxique)** en fond de système.

La zone aérobie du haut du filtre permet la dégradation biologique de la matière organique et une phase de nitrification d'une partie de l'azote ammoniacal ($\text{NH}_4^+ + \text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_3^-$).

Dans la zone anoxique, le carbone encore disponible est utilisé pour dénitrifier ($\text{NO}_3^- + \text{C}_{\text{org}} \rightarrow \text{N}_2$) et une rétention supplémentaire des MES est réalisée grâce à des vitesses d'écoulement plus faibles.

Cette partie saturée s'apparente aux filtres à écoulement horizontal mais comportant un dimensionnement hydraulique bien plus sécuritaire. En effet, les risques de colmatage sont largement diminués dans la mesure où la section hydraulique de passage (la surface horizontale du filtre dans ce cas-là) est largement supérieure à la section hydraulique des filtres à écoulement horizontal.

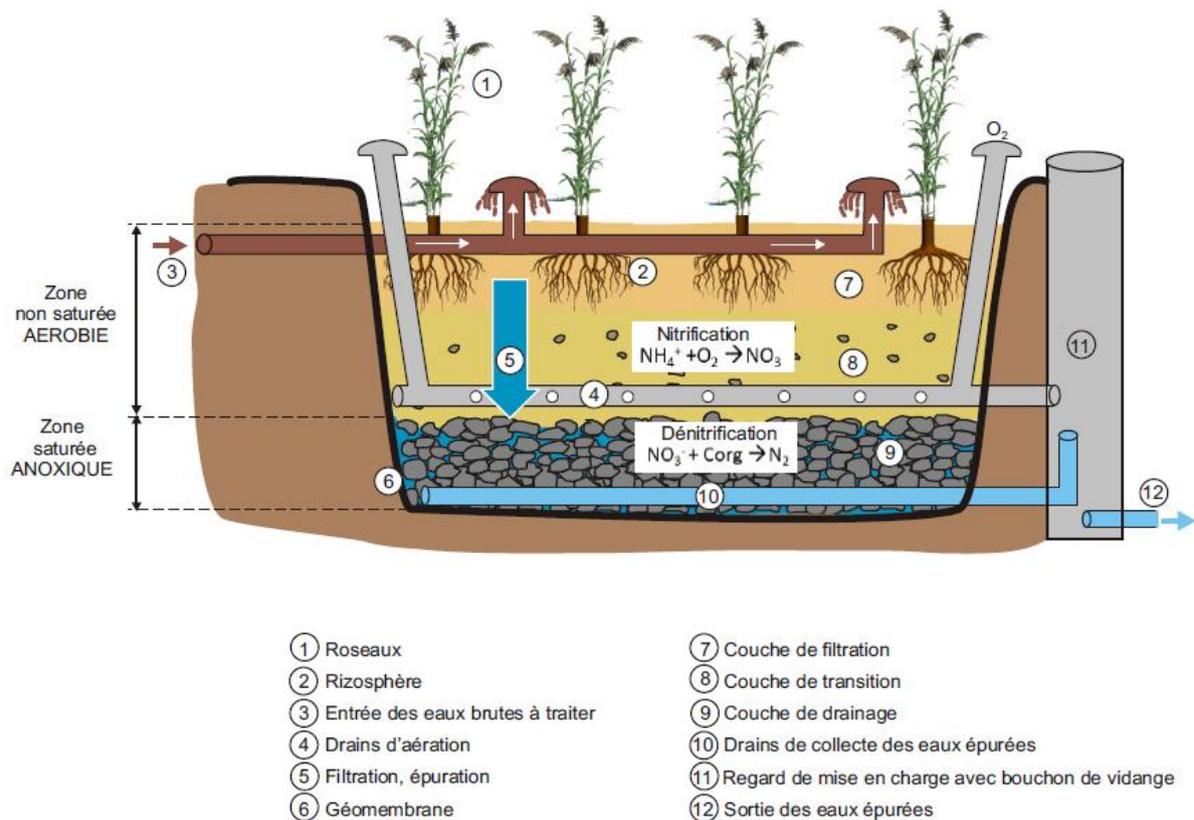


Figure 1 : Schéma de principe d'un filtre à écoulement vertical, non saturé – saturé (©F.Peyrquier, Irstea)

Le filtre vertical non saturé – saturé est un procédé récent développé par certains constructeurs spécialisés dans l'épuration végétalisée. Des programmes de recherche et des suivis en cours permettent d'optimiser ce procédé, d'apparence simple, mais dont les performances dépendent de la maîtrise de plusieurs paramètres (charge hydraulique, temps de séjour dans les différents compartiments, recirculation...).

HISTORIQUE

Les premiers travaux, au niveau national, sur la mise en place d'une couche saturée en fond d'un filtre à écoulement vertical, ont été réalisés en 2006 (Molle et al., 2006, 2008¹) dans un objectif d'amélioration des niveaux de rejet en azote global. Réalisés sur un premier étage classique dans lequel le fond a été saturé, ils ont permis d'apporter des premiers éléments d'analyse (cf. tableau 1). On retrouve notamment une mise en œuvre similaire dans les filtres du procédé AZOE®² lorsque des objectifs sur l'azote global sont recherchés.

Hauteur non saturée (cm)	Hauteur saturée (cm)	Conclusion
25	55	La couche aérobie est trop faible pour nitrifier correctement
50	30	La nitrification n'est pas aussi complète qu'avec 60 cm sans saturation : nécessité de drains d'aération intermédiaire

Tableau 1 : Retours des expérimentations menées par Irstea sur un filtre classique à un étage, saturé en fond (Molle et al., 2008)

Les tests réalisés en 2006 pour le traitement d'eaux usées brutes domestiques ont permis de mettre en évidence l'ampleur de la dénitrification dans la partie saturée ainsi que la nécessité de mettre en place un drain d'aération au-dessus de la couche saturée.

Par la suite, dans le cadre d'un programme de recherche sur le traitement des surverses de déversoir d'orage (projet SEGTEUP – ANR 2008 - 2012), une version plus élaborée a été mise en œuvre en incluant le drain d'aération intermédiaire (Molle et al., 2010³). Dans ce projet, différents matériaux et profondeurs ont été testés ainsi que l'usage de zéolite pour l'amélioration de la nitrification. Pour garantir une nitrification poussée, le drain d'aération s'imposait au regard des précédentes expériences. Aucun objectif de traitement de l'azote global n'était recherché dans ce dimensionnement. Dans des conditions particulières de saturation de la zéolite pendant les épisodes pluvieux, ce matériau s'est montré très efficace pour adsorber l'azote ammoniacal et augmenter le temps de séjour de ce dernier de manière à avoir le temps de le nitrifier complètement. La partie saturée avait uniquement pour but d'assurer une réserve hydrique pour les végétaux et une meilleure rétention des MES.

Le développement de ce procédé pour le traitement des eaux usées brutes s'est poursuivi par différents projets de recherche à l'initiative de différents constructeurs ou d'Irstea; les projets et retours d'expériences respectifs sont proposés en partie « Retours d'expérience, R&D », pages 10.

En avril 2011, Jean Voisin a déposé un brevet d'invention dans lequel il aborde la saturation du fond d'un FPR à écoulement vertical, en incluant un drain d'aération intermédiaire. Il y décrit les avantages de la combinaison de couches en condition aérobie, favorisant la nitrification, et d'une couche anoxique, favorable à la dénitrification. Le brevet porte sur une mise en œuvre particulière des profondeurs des couches (non saturée et saturée) et de la recirculation pour des objectifs ciblés sur le traitement de l'azote global.

¹ Molle, P., Prost-Boucle S., Liénard A. (2006) Potential for total nitrogen removal by combining vertical flow and horizontal flow constructed wetlands: a full scale experiment study. In 10th international conference on wetlands systems for water pollution control, September 23-29, 2006 - Lisbon – Portugal

Molle P., Prost-Boucle S., Liénard A. (2008) Potential for total nitrogen removal by combining vertical flow and horizontal flow constructed wetlands: a full-scale experiment study. In Ecol. Engineering, 34, pp 23-29.

² Prost-Boucle S., Molle P. (2013) Association de Lit bactérien et de FPR : évaluation du procédé Azoé de Scirpe. <http://epnac.irstea.fr/eaux-usees/lits-bacteriens/>, 44p.

³ Molle P., Lipeme Kouyi G., Toussaint J-Y ; Troesch S., Esser D., Vareilles S., Guillermand S. (2010) Traitement des eaux urbaines de temps de pluie par filtres plantés de roseaux à écoulement vertical : approche globale du projet de recherche Segteup. In NOVATECH 2010, 9p.

L'entreprise E.R.S.E vient récemment de breveter son procédé (2015), mettant en œuvre un débit de fuite permettant un réglage particulier de la saturation du procédé.

Dans la bibliographie internationale, nous retiendrons quelques sources parmi les auteurs ayant travaillé sur le filtre vertical non saturé – saturé :

- Langergraber et al., (2009). High-rate nitrogen removal in a two-stage subsurface vertical flow constructed wetland. *Desalination*, 246 (1-3), pp.55-68.
- Langergraber et al., (2008). A two-stage subsurface vertical flow constructed wetland for high-rate nitrogen removal, *Water Science and Technology* 57 (12) pp.1881-1887.
- Langergraber et al., (2008). Investigations on nitrogen removal in a two-stage subsurface vertical flow constructed wetland. *Wastewater Treatment, Plant Dynamics and Management in Constructed and Natural Wetlands*, pp. 199-209.
- Laber et al., (1997). Two strategies for advanced nitrogen elimination in vertical flow constructed wetlands. *Water Science and Technology*, 35 (5), pp. 71-77.
- Kantawanichkul et al., (2003). Treatment of agricultural wastewater in two experimental combined constructed wetland systems in a tropical climate. *Water Science and Technology*, 48 (5), pp. 199-205.
- S.Troesch et al., (2014), Using one filter stage of unsaturated/saturated optimized vertical flow filters to reduce the footprint of constructed wetlands, 14 th IWA International Conference on Wetland System for Pollution Control, Shanghai.

REFERENCES (2015)

A ce jour, d'après les données de trois constructeurs (Groupe « Syntea/Epur Nature/Eco Bird » – 23 réalisations, Jean Voisin – 20 réalisations et E.R.S.E – 3 réalisations), 46 stations en fonctionnement ou en construction sont recensées en France, pour des capacités de 80 à 1 900 EH (figures 2 à 5).

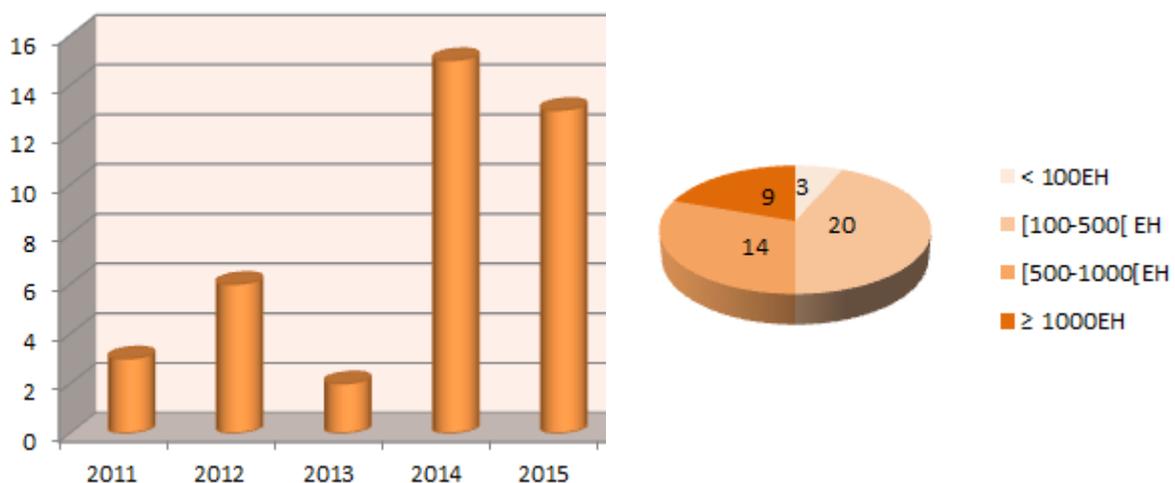


Figure 2 : Nombre de réalisations par an (gauche) et par capacités de traitement en EH (droite) (données issues des trois constructeurs confondus)



Figure 3: Station de Chantemerle les Blés (26) (gauche) et Station de Viols le Fort (34) (droite) – Réalisations du Groupe « Syntea/Epur Nature/Eco Bird » (sources respectives : SATESE 26/07 et Irstea)



Figure 4 : Station de Vrères (79) – Réalisation Jean Voisin (source : Voisin)



Figure 5 : Station de Chiré en Montreuil (86) – Réalisation E.R.S.E (source : E.R.S.E)

APPROCHES CONSTRUCTEURS - EVALUATION DE LA FILIERE

Dans un souci de préservation du savoir-faire respectif de chacun des constructeurs concernés, les données de dimensionnement pour un certain nombre de paramètres sont présentées au moyen d'ordres de grandeurs.

Le dimensionnement précis dépend des niveaux de rejet requis aussi bien sur les paramètres carbonés, qu'azotés et de l'importance des eaux claires parasites ou des temps de pluie.

Approche globale des constructeurs

Les arguments généraux (non hiérarchisés) pour développer cette filière sont indiqués ci-dessous. Pour autant, chaque constructeur a développé sa propre stratégie et privilégie la filière soit vis-à-vis d'une compacité/économie soit vis-à-vis d'un renforcement de certaines performances.

Arguments de commercialisation de cette filière, comparativement à la filière FPR classique (2 étages verticaux) :

- compacité de la filière
- atteinte d'un traitement poussé sur la matière carbonée sur un seul étage
- amélioration du traitement sur l'azote global vis à vis de la filière FPR classique à 2 étages
- réduction des coûts (notamment par la suppression du 2^{ème} étage de la filière FPR classique : besoin en sable...)
- risque réduit de colmatage de la partie saturée par rapport à un filtre à écoulement horizontal

Nature des réseaux compatibles et type d'effluent

Réseaux séparatifs ou adaptation du dimensionnement pour les réseaux unitaires - Effluent domestique principalement.

Bases de dimensionnement et conception

- **Prétraitement** : dégrillage (entrefer 20 à 40 mm)
- **Généralités sur le filtre vertical non saturé – saturé**
 - **Surface requise** : généralement entre 1.2 et 1.8 m²/EH au total (en climat métropolitain), selon le niveau de rejet visé, la nature des effluents et le type de réseau. Filière compacte.
 - **Nombre de filtres plantés** : généralement 3 filtres en parallèle sous climat métropolitain, de 0.4 à 0.6 m²/EH chacun, alimentés en alternance par les eaux brutes à traiter ; séparés en surface et sur une profondeur variable. Le plus souvent, pas de cloisonnement hydraulique total en profondeur du filtre. La hauteur de revanche est de l'ordre de 30-50 cm.
 - **Profondeur globale du filtre** : généralement entre 0.80 et 1.20 m selon les épaisseurs en différents substrats de garnissage, liées aux exigences de niveaux de rejet et au type d'effluent.
- **Alimentation du filtre**
 - Par bachées.
 - Rampes enterrées ou aériennes selon les contraintes techniques et le contexte conformément aux préconisations du guide macrophytes⁴ sur un premier étage de traitement.

⁴ Groupe Macrophytes et Traitement des Eaux (2005) Epuration des eaux usées par filtres plantés de macrophytes – Recommandations techniques pour la conception et la réalisation, 45pages, Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse <http://epnac.irstea.fr/wp-content/uploads/2012/08/Guide-Macrophytes.pdf>

- Répartition de l'alimentation : généralement conforme à la filière FPR classique (1 point / 50 m²), certains constructeurs augmentent la densité de points (1 point / 15 m²).
- Débit d'alimentation > 0.5 m³/h par m² de filtre alimenté.
- Lamme d'eau : 2 à 4 cm.
- Alternance d'alimentation des 3 filtres : 3.5 jours d'alimentation et 7 jours de repos.

➤ Charge hydraulique :

Les charges hydrauliques de dimensionnement sont conformes à la filière classique suivant l'acceptation du temps de pluie (≤ 1.8 m/j sur le filtre alimenté en temps de pluie, guide macrophyte) et les engagements sur le traitement de l'azote (≤ 0.7 m/j sur le filtre alimenté en temps sec si objectif de nitrification, Prost-Boucle et Molle, 2012).

• **Partie aérobie, librement drainée**

➤ **Garnissage de la couche de filtration**

La couche de surface recevant les eaux brutes à traiter est composée d'une ou deux couches de gravier conforme au guide macrophyte⁴ (2/8 mm) sur une épaisseur pouvant varier de 0.3 m à 0.8 m suivant les constructeurs et les objectifs visés.

Certains constructeurs, suivant le niveau de rejet demandé, insèrent une couche de zéolite de granulométrie similaire pour adsorber l'azote ammoniacal.

Une couche de transition constituée de graviers plus grossiers (4/20 mm, 10/20 mm) assure le passage depuis la couche de filtration vers le milieu saturé en eau et anoxique du filtre. C'est dans cette couche que sont installés les drains d'aération intermédiaires.

• **Partie anoxique, milieu saturé en eau**

➤ **Garnissage de la couche de drainage**

La partie saturée correspond le plus souvent à des matériaux de type 20/40 mm, présents sur 0.2 à 0.6 m de hauteur.

La hauteur d'eau en fond de filtre est observable via le dispositif de mise en charge et peut être modifiée par un niveau réglable en sortie. Certains constructeurs proposent un débit de fuite régulé pour maîtriser le temps de séjour et dé-saturer la zone en période de repos.

La section hydraulique de la partie saturée est supérieure à celle d'un FPR horizontal, réduisant le risque de colmatage.

• **Drains d'aération et de collecte**

- **Drains de récupération** en fond de filtre : DN 100 à 160 mm (selon les constructeurs), adaptés à la purge de MES par soutirage. Pente de fond de 0.5 à 1 %, densité minimum de 0.25 ml/m² (1 drain / 4 m).
- **Drains d'aération intermédiaires** : Des drains intermédiaires sont mis en place entre la partie aérobie et la partie anoxique afin d'assurer la bonne oxygénation de la partie superficielle sur l'ensemble de sa hauteur. Les fentes sont tournées vers le bas.
- **Cheminées d'aération** : Ø 110 à 160 mm, reliées à chaque réseau de drains intermédiaires (+/- drains de fond).

• **Recirculation**

Certains constructeurs prévoient un circuit de recirculation permettant :

- en fonctionnement normal, d'améliorer les performances de traitement
- lors des opérations de vidange de la partie saturée, de renvoyer les boues vers la tête de station.

Les taux de recirculation annoncés varient entre 30, 50, 100 et 200 %. Le taux de 100 % semble le plus fréquent.

• Temps de séjour

Le **temps de séjour dans la partie saturée** annoncé par les constructeurs varie entre **10 h et 24 h**. Il est fonction des exigences fixées sur la dénitrification. Associé à la charge hydraulique et la nature des effluents d'entrée, il est un paramètre majeur pour la maîtrise du fonctionnement du procédé.

Attention notamment à veiller aux éventuelles nuisances liées à des temps de séjour trop longs : effluent septique, odeurs nauséabondes.

N.B : Certains constructeurs proposent un deuxième étage vertical, en série derrière un filtre vertical non saturé- saturé suivant les objectifs de traitement (nitrification totale, rétention d'éventuels dépôts de MES et réoxygénation de l'effluent avant rejet).

PERFORMANCES ANNONCEES

Garanties de traitement annoncées par les constructeurs

- **Garantir les niveaux suivants** (ancien niveau de rejet D4), soit :

Paramètres	Exigences ancien niveau de rejet D4
DCO	<=125 mg/L
DBO ₅	<=25 mg/L
MES	<=35 mg/L

Tableau 2 : Extrait de la circulaire n°97-31 du 17/02/97 relative à l'assainissement collectif de communes-ouvrages de capacité inférieure à 120 kg DBO₅/jour (2000EH)

- **Niveaux de rejets maximum garantis**

Si l'ensemble des dimensionnements permettent de respecter les niveaux de base de la partie carbonée (125/25/35 mg/L en DCO/DBO₅/MES), suivant les dimensionnements proposés par les constructeurs, les niveaux de performances visés peuvent être supérieurs. D'une manière générale, les niveaux de traitement atteints vont dépendre du dimensionnement réalisé en termes de charge appliquée (surface), de hauteur de matériaux (et du type) de chacun des compartiments non saturé et saturé ainsi que du taux de recirculation. Le respect de niveau de rejet poussé dépend d'un réglage de ces différents paramètres que les constructeurs doivent justifier.

En ce qui concerne la pollution carbonée, des niveaux de 70/15/15 mg/L garantis en DCO/DBO₅/MES sont annoncés par certains constructeurs actuellement.

Pour les formes azotées, les niveaux actuellement visés varient de 15 à 30 mg N_K/L et 20 à 55 mg N_{GL}/L avec une limite de 70 % d'abattement sur l'azote global.

N.B : Les performances annoncées par les constructeurs sont basées sur la considération d'un effluent domestique classique en entrée (Mercoiret (2010) Qualité des eaux domestiques produites par les petites collectivités, Onema-Cemagref, 55 pages).

RETOURS D'EXPERIENCE

R&D

• Programme de R&D

Plusieurs projets de recherches et développement sont engagés par les constructeurs. Des expérimentations à plusieurs échelles sont réalisées : essais en laboratoire, suivis sur pilotes et sur sites en taille réelle.

On peut citer les projets :

➤ **ECOPHYSE** (2009-2012)

Partenariat Jean Voisin, Ecole des Mines de Nantes

Objectif : Amélioration des performances sur l'azote global sur un étage non saturé/saturé et influence de la recirculation sur pilotes de 2,5 m².

➤ **ATTENTIVE** (2012-2015) : Assainissement des eaux usées adapté au contexte Tropical par Traitement Extensif utilisant des Végétaux

Partenariat Office de l'Eau de Guadeloupe, Office de l'Eau de Martinique, COTRAM, Irstea et SICSM

Objectif : validation de dimensionnements de filières d'assainissement de type filtres plantés de végétaux non saturés/saturés pour le contexte tropical ; suivi de trois stations en taille réelle et pilotes de 2 m².

➤ **INNOPUR** (2013-2016),

Partenariat Epur Nature et Irstea,

Suivi de stations à filtre non saturé/saturé en taille réelle, et pilotes de 2 m².

Objectif : optimisation du traitement de l'azote (nitrification et dénitrification) par FPR, vers des filières à hautes performances.

➤ **ECOSTAR** (2014-2017),

Partenariat Jean Voisin, Ecole des Mines de Nantes et Irstea

Objectif : Suivis et optimisation des stations non saturées/saturées Combiphyltre® sur pilotes de 2,5 m² et taille réelle.

• Suivis de stations (bilans 24h)

D'autres stations font aussi l'objet de suivis par les constructeurs et/ou les SATESE. On peut mentionner par exemple : Chantemerle (26), Bihères en Ossau (64), Trangé (72), Sognolles-en-Montois (77), Vrères (79), Chiré-en-Montreuil (86) ...

• Résultats

Trop peu de données sont actuellement disponibles et diffusables pour pouvoir présenter une analyse de données pertinente et significative.

Des sources d'informations sont cependant disponibles :

- S. Prigent et al, (2013), Effects of a saturated layer and recirculation on nitrogen treatment performances of a single stage Vertical Flow Constructed Wetland (VFCW), Water Sciences and Technology, 68(7), pp 1461-1467.
- S.Troesch et al., (2014), Using one filter stage of unsaturated/saturated optimised vertical flow filters to reduce the footprint of constructed wetlands, 14 th IWA International Conference on Wetland System for Pollution Control, Shanghai.

FONCTIONNEMENT

Modalités d'exploitation : facilité / lourdeur / technicité

L'exploitation de ce type d'ouvrage ne diffère pas beaucoup de l'exploitation d'une station de filtres à écoulement vertical librement drainés (cf. « Guide d'exploitation des FPR » disponible en ligne sur le site <http://epnac.irstea.fr>). On notera toutefois que la mise en œuvre d'un étage unique induit l'absence d'entretien d'un deuxième étage vertical (moins de surface à faucarder notamment).

L'exploitation consiste en :

Alternance de l'alimentation des filtres :

- **Permutation de l'alimentation des filtres** tous les 3.5 jours.

• Une à deux fois par semaine :

- **Dégrillage et enlèvement** des déchets du bac d'égouttage du dégrilleur manuel et évacuation avec les déchets ménagers égouttés.
- **Contrôle visuel** du bon fonctionnement des ouvrages (dégrilleur, pompes et poires de niveau du poste d'alimentation, répartition / infiltration des effluents sur le filtre alimenté, absence de colmatage en fond du filtre).

Le contrôle d'un éventuel colmatage de la partie saturée en eau doit pouvoir se faire par les cheminées d'aération : contrôle de l'absence d'écoulement au niveau des drains intermédiaires ou par des regards de contrôle positionnés sur chaque lit.

- **Nettoyage** du poste d'alimentation, et de l'ouvrage de sortie autant de fois que nécessaire
- **Relever** le temps de marche du compteur de bachées ou des pompes de relevage sur le cahier de vie et s'assurer de l'absence de dérive (signe d'usure des roues)

• Une fois par semaine :

- **Désherbage** manuel régulier des mauvaises herbes du filtre (au printemps en particulier)

• Une fois par an :

Faucardage annuel des roseaux à la fin de l'automne lorsque les tiges sont desséchées, avec exportation des résidus de coupe hors des filtres.

Vidange annuelle (ou biannuelle) d'une partie de la zone saturée du filtre afin d'évacuer les MES accumulées en fond de filtre (et de les diriger vers l'entrée station). La fréquence de cette tâche, s'il est clair qu'elle ne sera pas élevée, doit être confirmée au regard du retour d'expérience de la filière.

• En hiver

En cas de risque de gel ponctuel, penser à assurer la vidange des rampes d'alimentation pour les filtres en période de repos dans un souci de préservation des conduites. Pour les zones climatiques froides, privilégier un système d'alimentation à vidange complète systématique.

• **Tous les 10 à 15 ans** (20 cm de hauteur de boues) : **curage du dépôt de boues** en surface des 3 filtres.

Coûts d'exploitation (coûts estimés par l'atelier de travail EPNAC⁵)

- **Coût de la main d'œuvre** : **5 € /EH /an** pour 1 000 EH.
(Pour des durées d'exploitation de l'étage de FPR similaires à un 1^{er} étage de la filière FPR classique)
- **Consommation électrique** : **0 à 1 € /EH /an** pour 1 000 EH.
- **Gestion des boues accumulées sur l'étage de FPR⁶** :
Curage tous les 10 à 15 ans : **1 à 2 € /EH /an**, pour 1 000 EH.
- **Coût total d'exploitation** estimé : autour de **10 à 15 € /EH /an** pour 1 000 EH

DISCUSSION-CONCLUSION

Bien que récent, le filtre vertical non saturé-saturé bénéficie de suivis déjà mis en place ou à venir prochainement. Des expérimentations avec variation des taux de recirculation sont notamment réalisées par plusieurs constructeurs.

La filière devrait donc disposer de retours d'expérience multiples permettant de tirer des conclusions plus précises dans les prochaines années.

La maîtrise des cinétiques de réaction de nitrification et dénitrification est nécessaire pour l'optimisation du dimensionnement, qui doit être réalisé par des constructeurs spécialisés, justifiant d'un savoir-faire sur ce type de procédé.

Le réglage des différents paramètres est essentiel pour le bon fonctionnement du système, en particulier le temps de séjour dans la partie saturée et le taux de recirculation.

Un des points clés sera donc de pouvoir confirmer les réglages optimums (hauteur de la partie non saturée, temps de séjour dans la partie saturée, taux de recirculation, charge surfacique) pour garantir différents niveaux de rejets et la pérennité du procédé (fréquence de vidange pour évacuation des MES de fond de filtre, débit de soutirage).

Domaine d'application du filtre vertical non saturé - saturé:

D'une manière globale, comme pour la filière FPR à 2 étages, ce procédé ne sera pas économiquement compétitif au-dessus de 5000 EH environ.

Vis-à-vis de la filière classique FPR à 2 étages, ce type de procédé trouve son intérêt dans le cas d'une pression prépondérante par les nitrates (NO_3), identifiée sur un bassin versant. Cependant, dans le cas général, le poids des nitrates d'origine domestique issus des petites collectivités est négligeable au regard des apports agricoles.

Par contre, ce type de procédé atteint des performances moins intéressantes sur l'azote réduit (NTK ou NH_4) vis-à-vis de la filière classique FPR à 2 étages. Or ces paramètres sont associés à une toxicité accrue sur les milieux aquatiques par rapport aux nitrates (NO_3). La filière doit être adaptée en conséquence et justifiée si une pression NH_4 est présente ce qui est généralement le cas puisque les valeurs seuils de « Bon état » sont de 0,5 mg/l en NH_4 et 50 mg/l en NO_3 .

⁵ D'après le guide d'exploitation EPNAC (disponible sur le site epnac.irstea.fr), les retours du SATESE 14 et de l'ARPE (dossier 2012), sur la filière FPR classique à 2 étages verticaux.

⁶ Coûts des opérations de curage, épandage et suivis agronomiques de la filière FPR classique.

Intérêts de la filière et points de vigilance pour assurer un bon développement de la filière filtre vertical non saturé-saturé

Intérêts	Points de vigilance
Base de dimensionnement et conception	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Compacité du procédé ; surface utile réduite de 25 à 40 % par rapport à une filière FPR classique à 2 étages (2 m²/EH). Emprise foncière bien plus faible qu'une filière à deux étages. ✓ Affranchissement du sable du 2^{ème} étage comparativement à une filière classique de FPR à 2 étages. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Au vu des retours d'expérience, Irstea alerte sur le fait qu'il ne faut pas utiliser de gravier de type 4/8 mm pour la couche de filtration supérieure, sous peine de favoriser le risque de colmatage du procédé par la migration de fines en fond de filtre. Il est alors recommandé l'utilisation des granulométries 2/4 voire 3/6 mm.
Garanties de traitement annoncées par les constructeurs	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Performances attendues intéressantes pour un seul étage de traitement. <p>En effet, les concentrations moyennes mesurées en sortie par les constructeurs (70/15 mg/l en DCO/MES) sont bien meilleures que celles obtenues via un premier étage seul de la filière classique FPR (131/33 mg/L en DCO/MES), et proches des concentrations moyennes mesurées en sortie du deuxième étage pour la pollution carbonée (66/14 mg/L en DCO/MES).</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Traitement avancé de l'azote global suivant le dimensionnement grâce à la dénitrification dans la partie saturée en eau. ✓ Filière intéressante en climat froid car enterrée. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Choix du dimensionnement pour le traitement de l'azote : compromis entre une nitrification efficace et une dénitrification poussée. <p>En effet, la mise en œuvre d'une nitrification efficace peut limiter la dénitrification par un manque de carbone.</p> <p>Les performances annoncées par les constructeurs sur l'azote global (20 à 55 mg N_{GL}/L – 70% max d'abattement) peuvent être inférieures au niveau de rejet parfois exigé en assainissement (maximum technico économiquement abordable considéré de 15mg N_{GL}/L pour STEU 2000 – 10 000 EH⁷).</p> <p>Lorsque des exigences plus contraignantes en N_{GL} sont exigées, il faut associer d'autres étapes à ce système de traitement. Certains constructeurs ont ainsi développé des filières spécifiques à rendements élevés sur les paramètres azotés.</p> <p>Le processus de dénitrification en fond de filtre saturé nécessite une disponibilité de carbone (ratio DCO/N-NO₃ > 2 voire 3). Les performances atteintes sur le N_{GL} se font au détriment de celles sur le N_{TK}. Une justification des dimensionnements est à réaliser.</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Veiller au réglage du temps de séjour de l'eau dans la partie saturée, afin d'éviter une mise en anaérobie du milieu, et donc une dégradation de la qualité de traitement en particulier sur la partie azotée. ✓ Veiller au réglage du taux de recirculation optimal (variabilité saisonnière hiver- été, surcharge hydraulique ponctuelle, risque de colmatage...). ✓ Possible dégradation temporaire de la dénitrification après la vidange du fond de filtre saturé.

⁷ Note méthodologique de cadrage de la méthode de définition des niveaux de rejet (2015), Groupe de travail co-piloté EPNAC - MEDDE

Modalités d'exploitation : facilité / lourdeur / technicité	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Absence de technicité spécifique requise. ✓ Section hydraulique de la partie saturée plus importante qu'un FPR horizontal, réduisant le risque de colmatage. ✓ Stockage des boues prolongé en surface des FPR. Fréquence de curage similaire à la filière FPR classique à deux étages. ✓ Réduction des tâches d'entretien de type faucardage, désherbage et nettoyage du deuxième ouvrage d'alimentation par rapport à une filière FPR classique à deux étages. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Opération de vidange/purge de la partie saturée préconisée par les constructeurs pour éviter le colmatage du dispositif. <p>De ce fait, un équipement adapté complémentaire, lorsque l'alimentation est entièrement gravitaire, doit être mis en place (nécessité de l'intervention d'une hydrocureuse ou un pompage ponctuel, filtre de délestage de boues ...).</p>
Coûts d'exploitation	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Les coûts d'exploitation sont légèrement plus faibles que ceux d'une filière « FPR classique » en raison de l'absence du deuxième étage et d'une emprise au sol plus faible. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ L'absence d'électricité sur site engendre des besoins matériels spécifiques pour les opérations de maintenance (nécessité de pompes selon la configuration du site pour l'opération de purge/vidange de MES en fond de filtre) et donc des coûts à prendre en compte (ordre d'idée: 500 à 800€/an).

Commentaires :

Compte tenu de la forte toxicité de l'azote ammoniacal (NH₄) sur le milieu superficiel, le niveau de rejet doit alors être déterminé correctement, pour savoir s'il est préférable de privilégier la nitrification ou l'abattement de l'azote global dans le dimensionnement.

Certains constructeurs annoncent une performance garantie d'abattement de 70% sur l'azote global. Les dimensionnements de filtres verticaux non saturé – saturé testés à ce jour ont permis l'observation d'un taux d'abattement plutôt autour de 60%.

Parmi les modalités d'exploitation, la fréquence de vidange, le débit à appliquer et la quantité à vidanger restent à préciser.

Recommandations particulières:

La conception doit garantir la vidange (purge) des MES du fond de filtre, et cela dans un souci d'ordre pratique, facilitant l'exploitation et la maintenance, dans des conditions techniques maîtrisables par l'exploitant (fréquence, matériels requis).

Pour cela, il faudra veiller au dimensionnement du regard de mise en charge pour assurer la vérification du bon fonctionnement de l'aération intermédiaire et la vidange des boues.