

## Alternance d'alimentation en filtres plantés de végétaux : pourquoi elle est nécessaire 2 fois par semaine

### PREAMBULE - RECOMMANDATIONS

Les recommandations de conception et d'exploitation d'une station à filtres plantés de roseaux (ou d'autres végétaux dans certaines régions du monde), à écoulement vertical, exigent une rotation des casiers 2 fois par semaine tant en contexte tropical qu'en climat tempéré (CCTP 2023 ; Lombard-Latune et Molle 2017 ; Epnac atelier Guides exploitation 2015 ; Molle et al. 2004).

- ➔ **L'exploitation d'un premier étage de filtres plantés composé de 3 casiers en parallèle** (en climat tempéré) **consiste à n'alimenter en eaux usées qu'un seul casier pendant que les deux autres sont au repos** : ceci correspond à 3.5 jours d'alimentation suivis de 7 jours de repos pour chaque casier.
- ➔ **Pour un deuxième étage, constitué de 2 casiers en parallèle, la rotation est également réalisée 2 fois par semaine**, soit 3.5 jours d'alimentation suivis de 3.5 jours de repos.

Ces recommandations sont issues :

- d'observations de terrain (fréquence et durée de flaques en surface des filtres, séchage et minéralisation des boues, développement des végétaux),
- de mesures de l'aération au sein des massifs filtrants (mesures de gaz),
- de suivis de la qualité des eaux en sortie des filtres (MES, DCO et NH<sub>4</sub>),
- et du suivi des populations bactériennes dans les filtres.

**Une alternance insuffisante (moins de 2 fois par semaine) entraîne de nombreux impacts détaillés dans cette note.**

### PLAN DE LA NOTE

1.	IMPACT SUR LE FLAQUAGE .....	2
2.	IMPACT SUR LE SECHAGE ET LA MINERALISATION DU DEPOT DE SURFACE.....	3
3.	IMPACT SUR LES VITESSES D'INFILTRATION .....	4
4.	IMPACT SUR L'AERATION .....	4
5.	IMPACT SUR LE TRAITEMENT .....	5
6.	IMPACT SUR LE DEVELOPPEMENT DES VEGETAUX .....	6
7.	CONCLUSIONS .....	6

## 1. IMPACT SUR LE FLAQUAGE

Le flaquage est défini par la présence d'une lame d'eau en surface d'un filtre (Figure 1), d'au moins plusieurs centimètres, empêchant la diffusion de l'oxygène atmosphérique dans le massif filtrant depuis la surface. Ce flaquage peut être apprécié comme décrit ci-après :



Figure 1. Flaquage prolongé sur un filtre en alimentation (à gauche) et dépôt de boues séchées sur le filtre au repos depuis plus de 7 jours (à droite), sur le 1<sup>er</sup> étage d'une station jeune démarrée en hiver et recevant une très forte charge organique.

En présence d'eau claires parasites (généralement plus importantes en période hivernale), en période de temps de pluie sur des réseaux unitaires ou encore en cas de recirculation excessive, Arias (2013) et le CCTP sur les filtres plantés (2023) mentionnent la nécessité de dimensionner correctement les ouvrages.

En cas d'eaux claires parasites, la charge hydraulique sur le filtre en fonctionnement ne doit pas excéder 70 cm/j pour éviter tout colmatage de surface sur le long terme. En cas de recirculation, cette dernière est prise en compte dans les 70 cm/j. La durée du cycle d'alimentation de 3.5 jours est maintenue.

En période de temps de pluie, compte tenu de leur effet plus ponctuel sur l'hydraulique de l'ouvrage, des charges supérieures peuvent être appliquées. Un dimensionnement dynamique basé sur des chroniques de débits arrivant à la station sur plusieurs années permet un dimensionnement optimisé de l'ouvrage (Arias 2013). Par

sécurité les dimensionnements peuvent être réalisés sur une base de 0.5 m<sup>2</sup>/EH pour chacun des filtres de chaque étage, avec au 1<sup>er</sup> étage une hauteur de revanche permettant une accumulation d'eau en surface en temps de pluie (flaquage). La gestion (alternance) des filtres en temps de pluie peut être adaptée selon le comportement du filtre dans le temps face aux épisodes pluvieux. Deux adaptations peuvent être notées :

- réaliser l'alternance en cas d'un flaquage cumulé sur la journée supérieur à 15 h ;
- réaliser l'alternance une fois la charge hydraulique cumulée sur un cycle d'alimentation dépassant les 3.5 m. La rotation des filtres peut être asservie au volume reçu par le filtre en fonctionnement par le biais de la programmation de l'automate de la station (si existant).

Dans ce cas-là, les 3.5 jours d'alimentation ne sont plus respectés et le cycle d'alternance est accéléré.



*Point de vigilance : il s'agit de nouvelles recommandations qui s'appuient sur des observations réalisées sur un nombre limité de stations. Elles sont donc amenées à évoluer selon l'avancée des connaissances.*

### Définition du « colmatage »

Forquet (2019) définit le colmatage comme une « réduction de la capacité d'infiltration ne permettant plus d'accepter de nouveaux volumes sur le filtre en fonctionnement et conduisant à un dysfonctionnement de l'installation et/ou à une dégradation importante des performances. La présence de flaquage ne permet pas à elle seule de définir le colmatage. En effet, en période hivernale ou suite à un temps de pluie important, il peut arriver que l'effluent stagne à la surface du filtre entre deux bâchées, voire pendant plusieurs jours après la fin de l'alimentation ».

## 2. IMPACT SUR LE SECHAGE ET LA MINERALISATION DU DEPOT DE SURFACE

Forquet (2019) indique que « la période de repos joue également un rôle essentiel dans la structuration du dépôt ». Il propose un arbre des causes du colmatage des filtres plantés (Figure 2) où le défaut de gestion par « alternance non respectée » est mentionné :

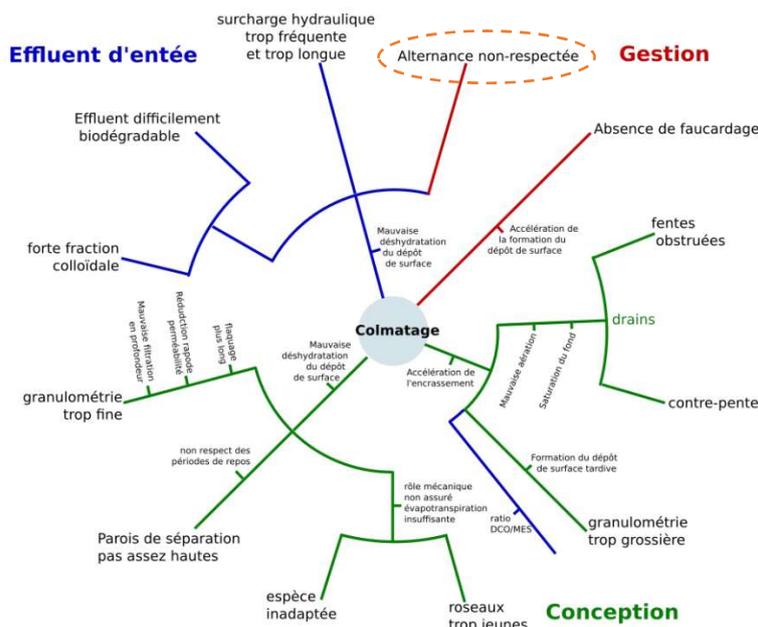


Figure 2. Arbre des causes susceptibles d'expliquer le développement du colmatage (Forquet 2019).

Au bout de 3 à 4 jours d'alimentation, le dépôt de surface (également appelé « boues ») est gorgé d'eau et les biofilms qu'ils contiennent ont considérablement grossi. Ces derniers produisent des EPS (exo-polysaccharides : substances polymériques extracellulaires) au fort pouvoir colmatant et lentement biodégradables. La période de repos est donc indispensable pour déshydrater le dépôt, fissurer les boues par assèchement, et dégrader les EPS produites pendant la période d'alimentation et permettre à l'oxygène de pénétrer dans le massif filtrant (maintien de l'oxygénation).

Toutefois, une rotation assez fréquente de l'alimentation des filtres permet de maintenir un taux d'humidité dans le dépôt, nécessaire à sa minéralisation lente et correcte.

### 3. IMPACT SUR LES VITESSES D'INFILTRATION

L'alimentation d'un filtre en eaux usées permet la ré-humectation de la biomasse (biofilm principalement composé de bactéries assurant le traitement des effluents) et son développement. La respiration aérobie permet la production importante d'EPS (McKinley et Siegrist 2011) : le biofilm se développe dans la porosité du massif filtrant tant que le filtre est alimenté, ce qui provoque une réduction de la porosité. Cette diminution de la taille des pores permet de réduire les vitesses d'infiltration et d'augmenter le temps de séjour des effluents. Ainsi, cela assure un meilleur contact entre l'eau usée à traiter et la biomasse épuratrice, ce qui favorise le traitement des polluants, tout en assurant la circulation des gaz (notamment l'oxygène nécessaire au traitement aérobie de la DCO, la DBO et la nitrification).

Mais en cas d'alimentation prolongée, le comblement de la porosité par la biomasse est tel que les effluents ne peuvent plus s'infiltrer suffisamment et que l'oxygène n'est pas renouvelé correctement (Molle et al. 2006). Par conséquent, un flaquage prolongé s'observe en surface du filtre. Les conditions peuvent devenir anoxiques puis anaérobies : il n'est alors plus possible de dégrader les EPS qui s'accumulent et se gonflent d'eau (McKinley et Siegrist 2011). L'apparition d'un « slime » (substance gluante) en surface du filtre empêchera progressivement l'infiltration des effluents.

### 4. IMPACT SUR L'AERATION

La teneur en oxygène a un impact direct sur le traitement : un manque d'O<sub>2</sub> impacte rapidement les cinétiques de dégradation des communautés microbiennes et provoquera un arrêt du traitement par cette biomasse épuratrice aérobie, mais il est difficile de définir une valeur seuil. Une valeur de 2.1 mgO<sub>2</sub>/L dans la phase liquide est donnée par Pastorelli et al. (1997) comme le seuil minimal en-dessous duquel la nitrification est fortement pénalisée.

Durant la période d'alimentation, la concentration en O<sub>2</sub> proche de la surface varie significativement (entre 20 et 100 % de la teneur à saturation dans la phase gazeuse selon Petitjean et al. 2016) et diminue progressivement au cours des jours. Lorsque survient la période de repos, les teneurs remontent rapidement jusqu'à atteindre 100 %, permettant notamment la minéralisation des exo-polymères produits par les bactéries (Forquet 2019).

Lors d'une infiltration normale (Figure 3, Bolomey 2006), on observe des teneurs en oxygène à différentes profondeurs dans le filtre qui restent correctes mais confirment l'intérêt d'une rotation 2 fois par semaine :

- une forte diminution de la teneur en O<sub>2</sub> sur 3 jours d'alimentation ;
- qu'il faut 5 à 7 jours de repos pour retrouver une saturation en O<sub>2</sub> proche de 100 %.

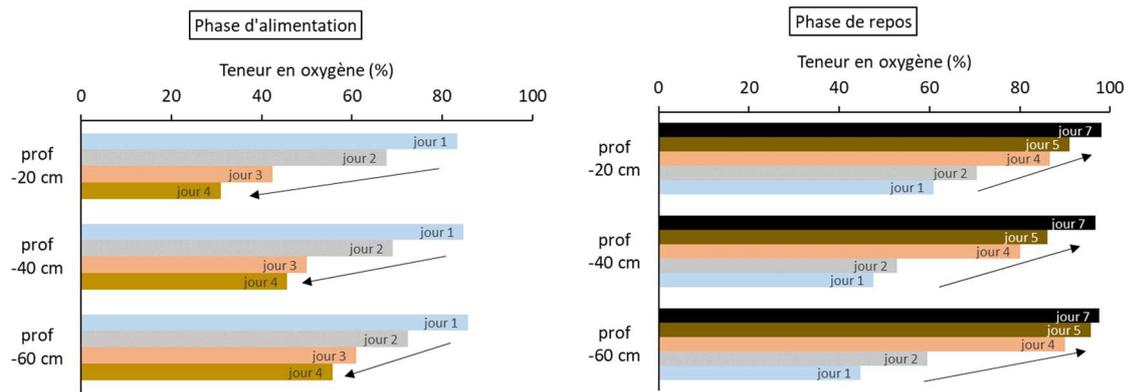


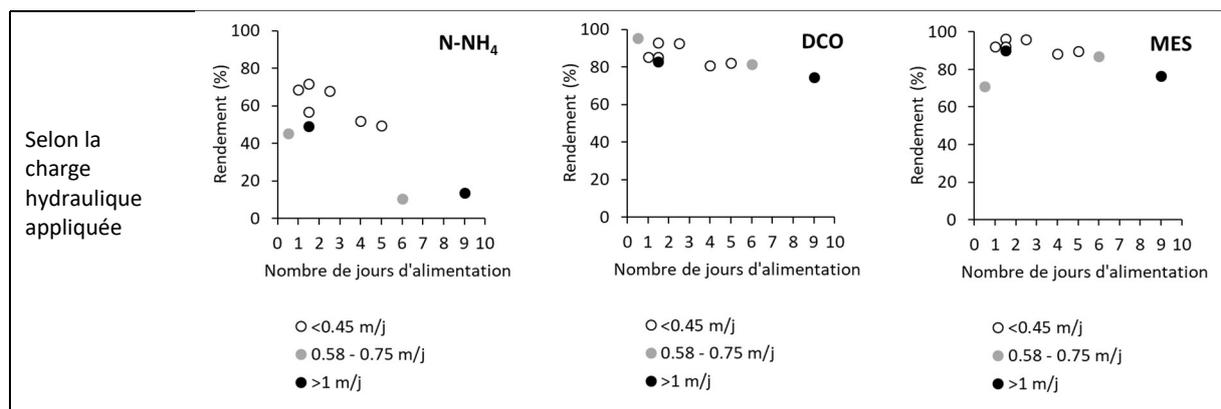
Figure 3. Profils verticaux en oxygène dans la phase gazeuse (air) au sein des massifs filtrants.

## 5. IMPACT SUR LE TRAITEMENT

Le premier cycle d'accumulation de matières solides dans le 1<sup>er</sup> étage des filtres plantés est lié à l'alternance alimentation/repos. Des polluants sont stockés au sein du filtre durant la période d'alimentation, puis, durant la période de repos, l'activité bactérienne continue à les dégrader lentement. Les particules organiques sont donc transformées en sous-produits solubles. De plus, les bactéries produisent des enzymes pour la dégradation de cette matière organique. Ces particules minéralisées seront entraînées en profondeur, voire vers la sortie du filtre, lors de la prochaine alimentation.

La période de repos ne doit pas être trop longue afin de maintenir des conditions d'humidité favorables au maintien de cette activité bactérienne et à la dégradation des polluants durant ce repos (Molle et al. 2006). En effet, un réseau de micropores retient de l'eau par capillarité ; il a été mis en évidence par des observations sur lames minces et grâce à la tomographie de rayon X (Martinez-Carvajal et al. 2019).

Avec la forte consommation en oxygène en phase d'alimentation, les performances de traitement diminuent au fil des jours d'alimentation. La Figure 4 permet de visualiser cet effet sur les paramètres  $\text{NH}_4$ , DCO et MES (Molle et Prost-Boucle 2010) pour différentes charges appliquées sur un 1<sup>er</sup> étage :



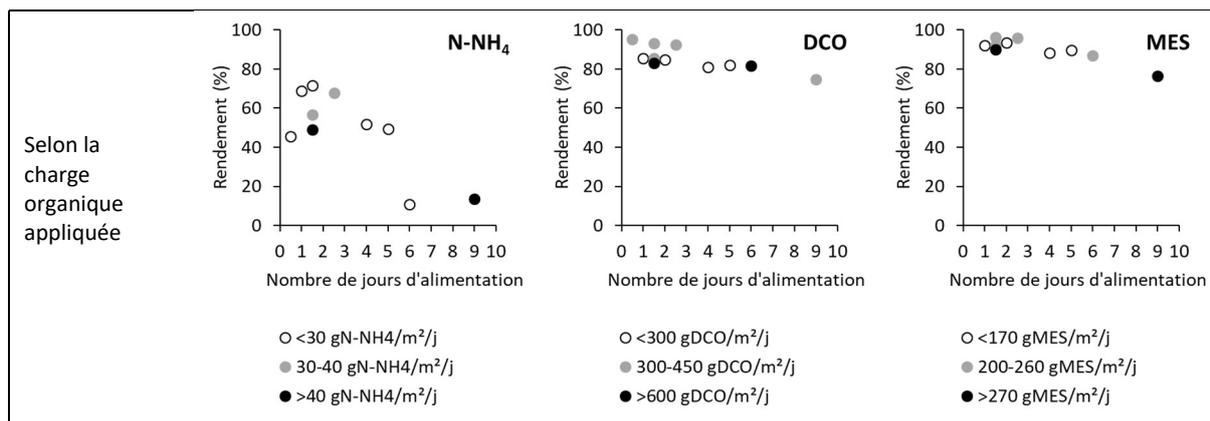


Figure 4. Performances pour les paramètres  $\text{NH}_4$ , DCO et MES selon la durée d'alimentation du filtre (1<sup>er</sup> étage).

Sur l'ensemble des paramètres, on observe logiquement une baisse des rendements opératoires au cours du temps. Cette baisse est très légère sur la DCO ou les MES. Toutefois, la nitrification, paramètre plus sensible aux conditions d'oxygénation, est nettement affectée par la durée de fonctionnement : la chute des rendements en  $\text{NH}_4$  devient nette dès le 4<sup>ème</sup> jour d'alimentation.

L'impact sur les performances de nitrification est également lié au maintien des populations bactériennes dans le milieu (Silveira et al. 2021). Une alternance d'une semaine provoque des variations importantes des populations et donc possiblement des performances épuratoires. Une alternance 2 fois par semaine permet une meilleure stabilité des populations bactériennes.

## 6. IMPACT SUR LE DEVELOPPEMENT DES VEGETAUX

Sur un 2<sup>ème</sup> étage, une seule alternance par semaine peut créer un stress hydrique pour les végétaux. En effet, contrairement à un 1<sup>er</sup> étage, il n'y a pas de dépôt sur le 2<sup>ème</sup> étage permettant de maintenir une forte humidité pour la survie des végétaux, et les nutriments sont en partie retenus sur le 1<sup>er</sup> étage. Par conséquent, leur développement peut être ralenti, les feuilles jaunissent (Figure 5) ; il est même possible que les végétaux meurent.

La rotation des filtres deux fois par semaine est donc également nécessaire sur un 2<sup>ème</sup> étage de filtres plantés.



Figure 5. Roseaux jaunis (chlorose).

## 7. CONCLUSIONS

Au regard de l'ensemble de ces éléments, il apparaît primordial de respecter des périodes de rotation 2 fois par semaine, tant au 1<sup>er</sup> qu'au 2<sup>ème</sup> étage. L'intérêt est alors multiple :

- maintenir de bons niveaux d'élimination des polluants ;
- fonctionner sur les périodes où les vitesses d'infiltration sont les plus favorables (empêcher un flaquage prolongé et un colmatage) ;
- minimiser la chute en oxygène en période d'alimentation et assurer un renouvellement en oxygène pendant 1 semaine de repos (durée suffisante quand l'infiltration est correcte) ;
- maintenir une humidité nécessaire pour la survie des végétaux.



*Point de vigilance : la théorie sur les mécanismes complémentaires de filtration en profondeur et par le dépôt de boues et leur impact sur la croissance du dépôt ne sont qu'une hypothèse qui n'a pas encore été formellement démontrée à la date de la rédaction de cette note.*

## BIBLIOGRAPHIE

- Arias L. (2013) Traitement des eaux résiduaires de temps sec et temps de pluie en réseau unitaire par filtres plantés de roseaux. Thèse INSA de Lyon - Irstea. 234 p.
- Bolomey G. (2006) Optimisation des systèmes de filtres plantés à écoulement vertical et d'infiltration percolation par analyse de gaz. Rapport de stage, Cemagref Lyon. 107 p.
- CCTP (2023) Cadre guide pour un cahier des clauses techniques particulières – Filtres plantés de roseaux. INRAE-OFB-FEVE. 91 p. <https://hal.inrae.fr/hal-04498401v1>
- Epnac atelier Guide d'exploitation (2015) Ouvrages de traitement par filtres plantés de roseaux – Guide d'exploitation. Epnac. 30 p.
- Forquet N. (2019) Etude du vieillissement des filtres plantés de roseaux - Rapport final. Epnac. 46 p.
- Lombard-Latune R., Molle P. (2017) Les filtres plantés de végétaux pour le traitement des eaux usées domestiques en milieu tropical. Guide de dimensionnement de la filière tropicalisée. Agence française pour la biodiversité, coll. Guides et protocoles, 72 p.
- Martinez-Carvajal G.D., Oxarango L., Adrien J., Molle P., Forquet N. (2019) Assessment of X-ray Computed Tomography to characterize filtering media from Vertical Flow Treatment Wetlands at the pore scale. *Sci Total Environ* 658, p 178-188. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.119>
- McKinley J.W., Siegrist R.L. (2011) Soil Clogging Genesis in Soil Treatment Units Used for Onsite Wastewater Reclamation: A Review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 41, p 2186-2209. <https://doi.org/10.1080/10643389.2010.497445>
- Molle P., Lienard 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*, Numéro spécial 2004, p 23-32.
- Molle P., Liénard A., Grasmic A., Iwema A. (2006) Effect of reeds and feeding operations on hydraulic behaviour of vertical flow constructed wetlands under hydraulic overloads. *Water Research* 40, p 606-612. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2005.11.026>
- Molle P., Prost-Boucle S. (2010) Usage de la recirculation sur un étage de filtres plantés de roseaux - Rapport final. Agence de l'eau RMC, OFB, INRAE. 32 p.
- Pastorelli G., Andreottola G., Canziani R., Darriulat C., de Fraja Frangipane E., Rozzi A. (1997) Organic carbon and nitrogen removal in moving-bed biofilm reactors. *Water Sci Technol* 35 (6): 91-99. <https://doi.org/10.2166/wst.1997.0247>
- Petitjean A., Forquet N., Boutin C. (2016) Oxygen profile and clogging in vertical flow sand filters for on-site wastewater treatment. *J Environ Manage* 170, p 15-20. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.12.033>
- Silveira D.D., Belli Filho P., Philippi L.S., Cantao M.E., Foulquier A., Bayle S., Delforno T.P., Molle P. (2021). In-depth assessment of microbial communities in the full-scale vertical flow treatment wetlands fed with raw domestic wastewater. *Environmental Technology* 42 (20), p 3106-3121

## AUTEURS

Stéphanie PROST-BOUCLE  
Nicolas FORQUET

(INRAE REVERSAAL)

## CREDIT PHOTOS ET ILLUSTRATIONS

© INRAE

## DATE DU DOCUMENT

Octobre 2024

