



**HAL**  
open science

## Note sur le filtre planté à flux vertical pour le traitement des eaux ménagères

Florent Brun, Vivien Dubois, Catherine Boutin

► **To cite this version:**

Florent Brun, Vivien Dubois, Catherine Boutin. Note sur le filtre planté à flux vertical pour le traitement des eaux ménagères. [Rapport de recherche] Institut de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture (IRSTEA), 5 rue de la Doua, 69100 Villeurbanne. 2019. hal-02394172

**HAL Id: hal-02394172**

**<https://hal.science/hal-02394172>**

Submitted on 28 Jan 2020

**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.



Eaux Ménagères : Filtres plantés à flux vertical et bois fragmenté  
Action n° 3 : marché quasi régie DEB 1921 année 2019

# Note sur le filtre planté à flux vertical pour le traitement des eaux ménagères

Florent BRUN (Irstea, centre de Lyon-Villeurbanne)  
Vivien DUBOIS (Irstea, centre de Lyon-Villeurbanne)  
Catherine BOUTIN (Irstea, centre de Lyon-Villeurbanne)

Octobre 2019

## Contexte de programmation et de réalisation

---

L'arrêté du 7 septembre 2009 fixant les prescriptions techniques applicables aux installations d'assainissement non collectif recevant une charge brute de pollution organique inférieure ou égale à 1,2 kg/j de DBO<sub>5</sub> (et dénommé parfois : arrêté « prescriptions techniques ») autorise l'usage de toilettes sèches. Dans ce cadre-là, mais aussi dans d'autres configurations de séparation à la source, il impose des dispositifs de traitement pour les eaux ménagères d'une taille équivalente à ceux qui reçoivent les eaux usées domestiques composées d'eaux vannes et d'eaux ménagères.

Dans le cadre des discussions autour de cet arrêté, il s'agit d'étudier le dimensionnement approprié de deux filières de traitement des eaux ménagères :

- les filtres plantés de roseaux à flux vertical.
- les filtres à broyats de bois.

Il est demandé à Irstea de proposer des dimensionnements appropriés pour le traitement des eaux ménagères.

Ce rapport concerne uniquement la filière à filtres plantés à flux vertical (FPv-EM). L'analyse de la filière par filtres à broyat de bois fera l'objet d'un rapport séparé.

## AUTEURS

**Florent BRUN**, Irstea, Ingénieur d'études, centre de Lyon-Villeurbanne, florent.brun@irstea.fr

**Vivien DUBOIS**, Irstea, Ingénieur d'études, centre de Lyon-Villeurbanne, vivien.dubois@irstea.fr

**Catherine BOUTIN**, Irstea, Ingénieur- Chef de mission, centre de Lyon-Villeurbanne, catherine.boutin@irstea.fr

## CORRESPONDANTS

**Victor LE BOULCH**, Chargé de mission assainissement non collectif, Bureau de la lutte contre les pollutions domestiques et industrielles (EARM4), Direction de l'Eau et de la Biodiversité, Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire.

**Sébastien GORECKI**, Chargé de prévention et gestion des risques liés aux eaux usées et aux DASRI, Direction Générale de la Santé, Ministère des Solidarités et de la Santé.

**Droits d'usage** : accès libre

**Niveau géographique** : national

**Couverture géographique** : France

**Niveau de lecture** : professionnels, experts



## Sommaire

Sommaire .....	3
Résumé .....	4
Mots clés .....	4
Sigles.....	4
Table des figures .....	5
I. Introduction.....	6
II. Généralités sur les eaux ménagères.....	6
a) Caractérisation.....	6
b) Infiltration pour une irrigation souterraine.....	7
III. Traitement des eaux ménagères par filtres plantés à flux vertical .....	8
a) Revue des pratiques.....	8
1. A l'international.....	8
2. Les filtres plantés agréés en France (EUD en ANC).....	8
b) Conception des filtres plantés à flux vertical .....	9
1. Caractérisation des eaux ménagères.....	9
2. Dimensionnement .....	12
3. Le massif filtrant .....	16
4. Les plantes.....	18
c) Recommandations d'entretien .....	19
1. Principe et modalités de fonctionnement.....	19
2. Modalités d'entretien .....	19
3. Règles de sécurité.....	19
IV. Conclusion : recommandations pour une rédaction réglementaire .....	20
Annexe 1 : Charges polluantes des urines comparées à celles des eaux ménagères .....	21
Bibliographie.....	22

## Résumé

Dans un contexte réglementaire de l'Assainissement Non Collectif en France, l'objectif du traitement des eaux ménagères par filtres plantés à flux vertical (FP<sub>V</sub>) est de valoriser ces eaux traitées par infiltration dans le sol pour rejoindre l'aquifère ou par irrigation souterraine de végétaux.

Une revue bibliographique sur la mise à l'épreuve de filtres plantés à flux vertical pour traiter les eaux ménagères (FP<sub>V</sub>-EM) amène à considérer cette technologie comme efficace. En ANC, la grande variabilité des eaux ménagères produites est liée à la variété des modes de vie des particuliers, ce qui rend particulièrement difficile l'exercice de dimensionnement des ouvrages. Le FP<sub>V</sub> fait partie des dispositifs qui sont en mesure d'accepter des amplitudes d'émission tant hydraulique qu'organique (DCO, DBO<sub>5</sub>, MES). Une analyse croisée entre les pratiques internationales issues de la bibliographie et l'expérience d'Irstea sur le dimensionnement et la conception du massif filtrant permet de proposer des filtres plantés à flux vertical de 3 m<sup>2</sup> pour un ménage type de 4-5 EH, auquel, il faut ajouter 0,6 m<sup>2</sup> par EH supplémentaire. Le massif est composé d'une granulométrie de couche filtrante de 2-6 mm située sous une couche superficielle de répartition.

Ces éléments de prescriptions techniques et d'entretien sont proposés aux Ministères de la Transition Ecologique et Solidaire et de la Santé dans le cadre des discussions du PANANC sur les évolutions techniques à introduire dans l'arrêté « prescriptions techniques » de 2009.

## Mots clés

Assainissement Non Collectif, eaux ménagères, filtres plantés à flux vertical, réglementation

## Sigles

AC :	Assainissement Collectif
ANC :	Assainissement Non Collectif
BRF :	Broyat Raméal Fragmenté ou plus généralement du broyat de bois
CSTB :	Centre Scientifique et Technique du Bâtiment
DBO <sub>5(7)</sub> :	Demande Biochimique en Oxygène à 5 jours ou (7 jours)
DCO :	Demande Chimique en Oxygène
DTU :	Document Technique Unifié
EH :	Equivalent Habitant
EM :	Eaux Ménagères
EUB :	Eaux Usées Brutes
EUD :	Eaux Usées Domestiques
EV :	Eaux Vannes
FP <sub>V</sub> :	Filtres Plantés à flux vertical
FP <sub>V</sub> -EM :	Filtres Plantés à flux vertical pour le traitement des Eaux Ménagères
INSEE :	Institut national de la statistique et des études économiques
MAGE :	Mission d'Assistance à la Gestion de l'Eau (42)
MES :	Matières En Suspension
SATESE :	Service d'Assistance Technique à l'Exploitation des Stations d'Épuration

## Table des figures

Figure 1 : Revue des agréments 4 à 5 EH avec des filtres plantés .....	8
Figure 2 : Comparaison de la production d'eaux ménagères en % de volume par ménage selon différentes sources .....	9
Figure 3 : Répartition des volumes journaliers émis par ménage. Source : (Olivier et al., à paraître).....	10
Figure 4 : Contribution des eaux vannes et eaux ménagères aux eaux usées domestiques. Source : (Eme & Boutin, 2015). .....	10
Figure 5 : Répartition des charges en DBO <sub>5</sub> émises par ménage. Source : (Olivier et al., à paraître).....	11
Figure 6 : Charges journalières pour les Eaux Ménagères d'un ménage type en ANC. ....	11
Figure 7 : Charges admises en Assainissement Collectif sur le filtre en fonctionnement du 1 <sup>er</sup> étage d'un FP <sub>v</sub> en EUD .....	12
Figure 8 : Surface minimale d'un filtre FP <sub>v</sub> -EM en fonctionnement .....	13
Figure 9 : Charges hydrauliques moyennes employées pour des FP <sub>v</sub> -EM .....	13
Figure 10 : Surface minimale de la totalité de l'étage de FP <sub>v</sub> -EM pour la DCO .....	13
Figure 11 : Surface minimale des FP <sub>v</sub> -EM pour la DBO <sub>5</sub> .....	14
Figure 12 : Résumé des surfaces minimales nécessaires pour les FP <sub>v</sub> -EM .....	14
Figure 13 : Résumé des surfaces minimales nécessaires pour l'infiltration des EM traitées .....	14
Figure 14 : Végétaux et massifs filtrants pour des FP <sub>v</sub> -EM dans la bibliographie .....	16
Figure 15 : Massif filtrants pour des FP <sub>v</sub> pour des EUD en AC .....	17
Figure 16 : Descriptif du massif filtrant pour des FP <sub>v</sub> -EM .....	17
Figure 17 : Opérations d'entretien et fréquence.....	19
Figure 18 : Charges journalières des urines dans un ménage. ....	21
Figure 19: Marges de sécurité dans l'évaluation des charges polluantes des eaux ménagères.....	21

## I. Introduction

La gestion des eaux ménagères (EM) de manière séparée aux eaux vannes (EV) dans un objectif de valorisation n'est pas une nouveauté dans le paysage de l'assainissement (Marshall, 1996; Tarr, 1975). Cette gestion, qui doit bénéficier d'un encadrement adapté, implique une caractérisation détaillée des eaux ménagères.

**Bien que les EM puissent être considérées individuellement par source d'émission (hygiène corporelle, alimentation et nettoyage), elles sont généralement dans la littérature comme dans cette note considérées ensemble, comme un tout.**

Il existe plusieurs revues de publications scientifiques internationales sur les eaux ménagères. Certaines traitent de leur simple caractérisation (Jefferson *et al.* 2004) et d'autres réalisent la caractérisation des EM brutes puis des EM traitées par différentes technologies de traitement. Elles analysent ensuite les rendements pour vérifier si les dispositifs choisis respectent les objectifs attendus en fonction de l'usage envisagé (Pidou *et al.*, 2007; Ghunmi *et al.*, 2011; Li *et al.*, 2009). Ce sont les normes américaines, californiennes ou australiennes qui font référence en la matière (Arden & Ma, 2018).

Dans le contexte de l'Assainissement Non Collectif (ANC) français, l'arrêté ministériel relatif aux prescriptions techniques pour les installations d'assainissement non collectif recevant une charge organique brute <1.2 kg de DBO<sub>5</sub>/jour autorise dans certains cas de figure (usage de toilettes sèches par exemple) un traitement séparé des eaux ménagères, mais impose des dispositifs de traitement équivalents à ceux qui reçoivent les eaux usées domestiques, incluant donc aussi les eaux vannes. Dans le cadre de la révision de cet arrêté, il est proposé de réaliser une expertise en partie basée sur la bibliographie internationale. Cette expertise permet d'élaborer des prescriptions techniques et des dimensionnements appropriés pour le traitement par une filière : « filtres plantés à flux vertical (FPV-EM) » sans prétraitement, avec une dispersion directe assurée par le sol comme une composante de la zone de rejet.

A cet effet, l'expertise se base d'abord sur une revue bibliographique de la caractérisation des EM en France et dans le monde, puis sur une analyse technique des pratiques de mise en œuvre des FPV appliqués au traitement des eaux ménagères (FPV-EM). Il est alors possible de proposer des éléments concrets en vue d'élaborer les prescriptions techniques qui pourraient être intégrées à un nouvel arrêté « prescriptions techniques ».

## II. Généralités sur les eaux ménagères

### a) Caractérisation

La définition communément acquise et partagée par la communauté scientifique des eaux ménagères (ou en anglais : grey water, gray water, greywater, graywater) repose sur la proposition d'Antoine Morel de l'Eawag (Morel *et al.*, 2006) qui fait référence dans la littérature. Elle comprend les eaux en provenance des activités de douche, bain, cuisine, buanderie, éviers et autres lavabos. Quelques contre-exemples, à la marge, existent qui ne considèrent pas les eaux de cuisine car trop chargées en matières organiques ou en graisse (Jokerst *et al.*, 2009; Parjane & Sane, 2011).

Elles sont considérées dans le cadre de cette note comme un tout et non par source d'émission.

Plusieurs recherches ont été menées pour la caractérisation des eaux ménagères brutes que ce soit en France ou à l'étranger (Eme & Boutin, 2015; Jefferson *et al.*, 2004). Elles peuvent avoir un objectif uniquement de caractérisation par une bibliographie ou par des mesures de terrain. Elles peuvent également être partie prenante d'une étude plus globale afin d'évaluer des rendements épuratoires d'un ou plusieurs procédés donnés. La récente revue scientifique internationale de Michael Oteng-Peprah (Oteng-Peprah *et al.*, 2018), souligne cette diversité de pratiques, élément explicatif des résultats de caractérisation très variables. Ce constat d'hétérogénéité des eaux ménagères est rémanent dans la littérature. Ainsi, des échantillons collectés peuvent montrer une hétérogénéité des mesures qui pousse à s'en remettre à la bibliographie pour une analyse solide (Deshayes, 2015).

Cette diversité peut s'expliquer par des pratiques socio-culturelles des usages de l'eau très différentes d'un ménage à un autre que ce soit dans un même pays (Brun *et al.*, 2017) ou d'un pays à l'autre comme le montre Oteng-Peprah. Ce constat est largement partagé. A plusieurs reprises, des recommandations sur les bons comportements à avoir en cuisine sont émises pour prévenir des éventuels problèmes de colmatage ou alléger les charges sur les dispositifs de traitement (Paulo *et al.*, 2013). Il y a alors une certaine déconnexion entre le nombre d'habitant et le flux d'EM produit en quantité (volume journalier) et en qualité « polluante » (masse journalière).

Il est confirmé que toutes les EM ont une bonne biodégradabilité (Li *et al.*, 2009) et qu'un dispositif biologique est adapté pour leur traitement, bien qu'une carence potentielle en nutriments des eaux ménagères laisse supposer une aptitude défavorable au développement bactérien nécessaire à un traitement biologique (Eme & Boutin, 2015).

La diversité de la charge tant hydraulique qu'organique des eaux ménagères démontrée par l'ensemble de la littérature mène à concevoir un dispositif de traitement qui soit simple, robuste et facile à entretenir pour faire face à des excès ou des manques en matières organiques ou en flux liquides. Ces variations de charges sont plus récurrentes à l'échelle du ménage qu'en assainissement collectif. Les filtres plantés (Constructed Wetlands ou plus récemment Treatment Wetlands) au sens large sont plébiscités pour assurer au mieux des rendements épuratoires stables dans des contextes à fortes variations (Paulo *et al.*, 2009).

L'article 7 de l'arrêté « prescriptions techniques » spécifie quant à lui les concentrations maximales suivantes en sortie de traitement, calculées sur un échantillon moyen journalier : 30 mg/L en MES et 35 mg/L pour la DBO<sub>5</sub>. Il n'y a ici aucune restriction, ni sur les paramètres microbiologiques, ni sur l'azote.

## **b) Infiltration pour une irrigation souterraine**

La réutilisation des eaux ménagères traitées est en quelque sorte la raison de leur collecte (Winblad, 2004) et l'objet de leur traitement (Wiel-Shafran *et al.*, 2006). Il s'agit, à l'international et bien souvent dans les zones arides, de valoriser ce type de ressource en eau pour des usages domestiques à la place d'utiliser l'eau du réseau potable. Il y a différentes possibilités de réutilisation des EM qui visent toujours des usages non potables à l'échelle de l'habitat individuel. Ces usages sont les suivants : chasse d'eau pour les toilettes, arrosage, divers nettoyages et lavages intérieurs et extérieurs (sols, voiture, etc.) et l'irrigation du potager en goutte-à-goutte. La littérature internationale, se base généralement sur les normes états-uniennes<sup>1</sup> ou australiennes en la matière (Allen *et al.*, 2010) pour encadrer la qualité des EM traitées destinée à ces usages. Les récentes revues internationales des pratiques de réutilisation des EM traitées n'abordent généralement pas l'infiltration pour la recharge d'aquifère ou l'irrigation souterraine comme des options de valorisation ou de réutilisation (Arden & Ma, 2018; Oh *et al.*, 2018).

En France, la réutilisation des eaux ménagères est encadrée grâce aux travaux du CSTB (Bulteau, 2013) et de l'ANSES (Rapport d'expertise collective, 2015). Le contexte de l'ANC français amène à ne considérer que l'option d'infiltration dans le sol en sortie de traitement qui correspond à la recharge de l'aquifère ou à l'irrigation souterraine (qui exclut donc le goutte-à-goutte) comme le précise les articles 12 et 13 de l'arrêté « prescriptions techniques ». De fait, tant en France qu'à l'étranger, infiltration et réutilisation n'ont pas les mêmes exigences de qualité d'eaux traitées.

Dans le contexte de l'ANC français, la réutilisation des eaux traitées est exclue; il en est de même pour les EM et ce sujet ne fait pas partie des objectifs de ce document. Pour rappel, la réglementation mentionne, selon la perméabilité du sol (comprise entre 10 et 500 mm/h), que les eaux usées traitées sont évacuées par infiltration ou par irrigation souterraine.

Dans l'hypothèse des FP<sub>v</sub>-EM non drainés, l'infiltration est directe. Si les filtres sont drainés, l'infiltration peut se faire par un massif dédié. Dans les deux cas, aucun contact avec l'homme ou un autre mammifère n'est possible. Ces éléments spécifiques à l'ANC en France sont en accord avec la protection du sol et de son pouvoir épurateur en tant que milieu récepteur (Agence de Bassin Loire-Bretagne, 1980). Le rejet en milieu hydraulique superficiel n'est donc pas envisagé ici.

---

<sup>1</sup> United States Environmental Protection Agency (USEPA) guidelines



### III. Traitement des eaux ménagères par filtres plantés à flux vertical

#### a) Revue des pratiques

##### 1. A l'international

L'emploi de FP<sub>v</sub> seuls en traitement des eaux ménagères n'est pas courant à l'étranger. Deux publications concernent des pilotes à petite échelle (Pillai & Vijayan, 2012; Yulistyorini *et al.*, 2019), deux autres publications le comparent avec d'autres technologies (Williams *et al.*, 2008; Winward *et al.*, 2008) et enfin Memon en 2017 le teste avec une alimentation par bâchée au Pakistan (Memon *et al.*, 2017).

D'un autre côté, il est beaucoup plus aisé de trouver des références sur l'emploi de filtres plantés combinés avec un prétraitement comme un bac à graisse ou un décanteur (Ridderstolpe, 2004) ou un dispositif de recirculation des eaux sur un même lit (Gross *et al.*, 2007; Gross *et al.*, 2008). Cette seconde option est largement reprise dans différentes revues (Ghaidak & Yadav, 2013) comme une référence pour le FP<sub>v</sub> avec des exigences de rendements plus élevés pour une valorisation autre que l'infiltration.

Il est donc possible de constater que l'emploi du FP<sub>v</sub> seul (c'est-à-dire sans prétraitement amont ni traitement complémentaire aval) n'est pas une pratique très répandue. Ce constat met clairement en avant l'expertise française sur les filtres plantés à flux vertical sans prétraitement des eaux usées brutes, particulièrement développé en Assainissement Collectif (AC) vis-à-vis notamment des anglo-saxons qui ont une expertise portée sur le filtre planté horizontal avec prétraitement.

##### 2. Les filtres plantés agréés en France (EUD en ANC)

Les agréments disponibles à ce jour ne ciblent pas le traitement des EM mais le traitement des eaux usées domestiques (EUD). La Figure 1 montre une diversité de pratiques pour les EUD. Notons, également l'absence parfois de précision des espèces de plantes employées. Cette figure souligne la grande variabilité de la surface de filtration totale allouée par équivalent-habitant (EH<sup>2</sup>) c'est-à-dire de 1,3 à 4 m<sup>2</sup>/EH avec une moyenne qui s'établit à 2,88 m<sup>2</sup>/EH. La surface de la totalité du 1<sup>er</sup> étage de FP<sub>v</sub>, alimentée en eaux usées brutes, s'établit en moyenne à 1,68 m<sup>2</sup>/EH.

Société	Numéro Agrément	Dispositif	Surface (m <sup>2</sup> )				Plantes	Spécificité	
			m <sup>2</sup>		m <sup>2</sup> /EH				
			par filtre	totale	totale	de l'étage FP <sub>v</sub>			
Epur nature	2011-004 et 4 bis	1 <sup>er</sup> étage FP <sub>v</sub>	15	20	4	3	<i>Phragmites communis</i> 4 plants/m <sup>2</sup>	Eaux usées prétraitées par FTE	Relevage et chasse à auget Au fil de l'eau
		2 <sup>ème</sup> étage FP <sub>H</sub>	5						
BlueSET	2014-005-mod01-ext03	1 <sup>er</sup> étage FP <sub>v</sub>	8,7	15,5	3,1	1,74	non spécifié	Eaux usées brutes	Au fil de l'eau
		2 <sup>ème</sup> étage FP <sub>H</sub>	6,8						
Jean Voisin	2014-007-ext01	1 seul étage 2 FP <sub>v</sub> en //	3,22	6,4	1,3	1,3	<i>Phragmites australis</i> 6 plants/m <sup>2</sup>		
Aquatiris	2011-022-mod03 et 2011-022-mod03-ext15	1 <sup>er</sup> étage 2 FP <sub>v</sub> en //	5	20	4	2	roseaux	Au fil de l'eau, alimentation en alternance des 2 FP <sub>v</sub>	
	2 <sup>ème</sup> étage FP <sub>H</sub>	10	non spécifié						
	2014-014-mod02 et 2014-014-mod02-ext09	1 seul étage 2 FP <sub>v</sub> en //	5	10	2	2	roseaux	Au fil de l'eau, alimentation en alternance des 2 FP <sub>v</sub>	

Figure 1 : Revue des agréments 4 à 5 EH avec des filtres plantés

2

<http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000271799&fastPos=16&fastReqId=517669123&categorieLien=id&oldAction=rechTexte>



## b) Conception des filtres plantés à flux vertical

L'échelle de référence est celle de l'immeuble d'habitation (le ménage) qui correspond à l'usage en ANC. Une habitation type correspond à une installation ANC de 4-5 EH. Selon l'Institut national de la statistique et des études économiques (INSEE), le nombre de personnes dans un ménage continue de diminuer pour atteindre 2,5 personnes en habitat individuel en 2013. Cela correspond à des logements d'en moyenne 112,2 m<sup>2</sup> et de 4,9 pièces d'habitation (Laferrère *et al.*, 2017). Ces chiffres qui concernent les communes rurales, donc celles potentiellement plutôt concernées par l'ANC, sont identiques à ceux de l'habitat individuel qu'il soit de type rural ou urbain. Il est possible de noter que selon l'INSEE, les ménages en situation de surpeuplement en habitat individuel (3%) ou dans les milieux ruraux (2%) sont très faibles.

Ainsi, depuis que la règle Pièce Principale = Equivalent –Habitant (PP=EH) est appliquée, un principe de précaution est de fait appliqué : dans une maison individuelle de taille moyenne de 4,9 pièces principales (soit 5 PP) vivent en moyenne 2,5 personnes ; ainsi, l'ouvrage de traitement de 5 EH permet de traiter des pollutions supérieures à la moyenne émise par un ménage moyen et dans une gamme large liée aux nombres d'habitants réels (1 à 5 habitants permanents) et leurs habitudes de vie.

Dans la suite de cette note, les valeurs annoncées ne sont plus comparées aux EH, mais généralement rapportées à un ménage afin d'être au plus proche du sujet à traiter.

### 1. Caractérisation des eaux ménagères

#### i. Flux quantitatif des eaux ménagères

Selon la Figure 2 ci-dessous, les eaux ménagères représentent au maximum 80 % du volume des eaux usées brutes. C'est cette valeur que nous retiendrons par la suite.

Références	Pays	Volume d'EM max / Volume d'EUD max (%)	Sources
(Eme & Boutin, 2015)	Europe de l'Ouest	57	Bibliographie
(Brun <i>et al.</i> , 2017)	France	81	Suivi <i>in situ</i>
(Tilley <i>et al.</i> , 2016)	Monde	65	Bibliographie
(Oh <i>et al.</i> , 2018)	Malaisie	70	Suivi <i>in situ</i>

Figure 2 : Comparaison de la production d'eaux ménagères en % de volume par ménage selon différentes sources

Au regard de la disparité des résultats de caractérisation des flux quantitatifs des EM et pour préciser les volumes correspondants, il est proposé de s'appuyer sur les résultats de l'étude de caractérisation des eaux usées brutes émises par les particuliers en ANC réalisée par Irstea en 2018 (Olivier *et al.*, à paraître). Ainsi, la charge hydraulique moyenne d'eaux usées brutes d'un ménage se situe dans la fourchette suivante :

$$14 < Q < 977 \text{ L/j}$$

Dans 90 % des cas, la charge hydraulique journalière est inférieure à 568 L/j comme indiqué sur la Figure 3.

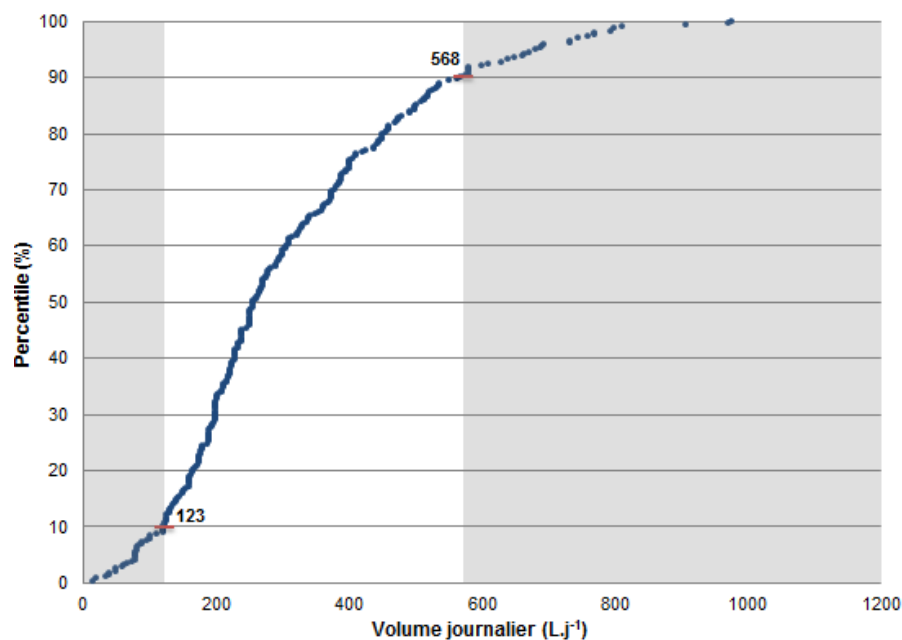


Figure 3 : Répartition des volumes journaliers émis par ménage. Source : (Olivier et al., à paraître)

Ainsi, le volume journalier d'eaux ménagères maximum produit par un ménage français, fixé à 80% du volume total d'eaux usées brutes émises serait de 782 L. Il est dans 90 % des cas, inférieur à 455 L avec une moyenne à 249 L.

#### ii. Flux qualitatifs des eaux ménagères

En se basant sur les moyennes de la revue bibliographique de la Figure 4, la charge polluante (MES, DBO<sub>5</sub>, DCO) des eaux ménagères n'excède jamais 40 % de la charge totale des eaux usées domestiques. Par précaution, un ratio de 50 % est utilisé dans les calculs ci-dessous. Notons, que cette précaution permet d'inclure, comme cela peut-être le cas dans certains bâtis, les urines dans le traitement des eaux ménagères sans avoir à modifier l'évaluation des charges à traiter (cf. annexe 1).

Paramètre	Eaux vannes	Eaux ménagères
<b>Volume</b>		
sans chasse	2%	98%
avec chasse	30%	70%
intervalle chasses	7 - 45%	93 - 53%
<b>MS</b>	61%	39%
<b>MES</b>	76%	24%
<b>DBO<sub>5(7)</sub></b>	62%	38%
<b>DCO</b>	61%	39%
<b>NGL</b>	89%	11%
dont NNH4	-	-
<b>PT</b>	68%	32%
dont PPO4	66%	34%
<b>K</b>	68%	32%

Figure 4 : Contribution des eaux vannes et eaux ménagères aux eaux usées domestiques. Source : (Eme & Boutin, 2015).

Ainsi, comme pour la charge hydraulique, nous proposons, sur la base de ce ratio, de faire correspondre les derniers résultats de l'étude menée à Irstea en 2018.

La charge organique journalière exprimée à partir de la DCO (percentile 90%) d'un ménage en France est de 676 g DCO/j (Olivier *et al.*, à paraître). L'équivalent en EM avec un ratio retenu à 50% des EUD, donnerait une charge organique journalière de 338 g DCO/j.

Pour la DBO<sub>5</sub>, la charge organique journalière (percentile 90%) d'un ménage en France est de 281 g DBO<sub>5</sub>/j comme présenté sur la Figure 5 ci-dessous.

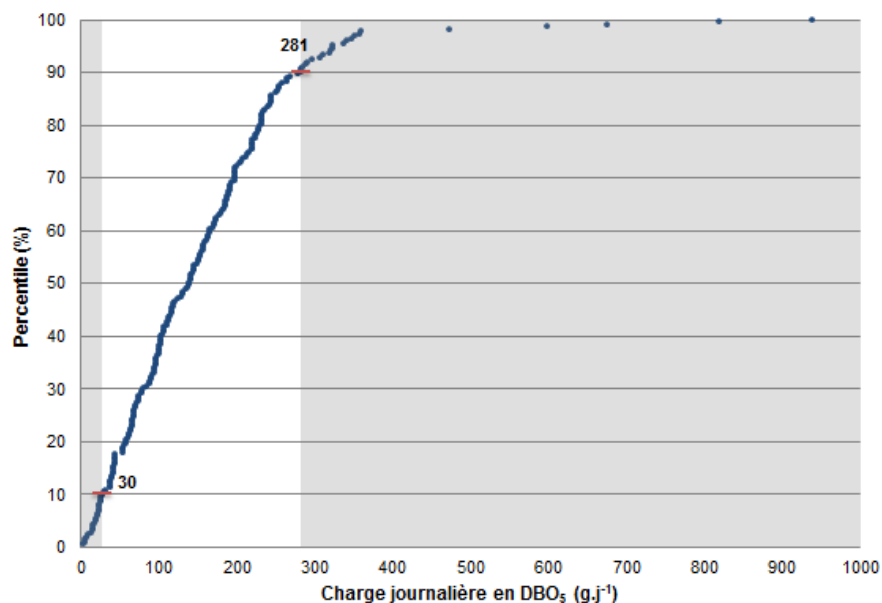


Figure 5 : Répartition des charges en DBO<sub>5</sub> émises par ménage. Source : (Olivier et al., à paraître)

L'équivalent en eaux ménagères, avec un ratio retenu à 50 %, donne une charge organique de 140 g DBO<sub>5</sub>/jour.

### iii. Synthèse de caractérisation des eaux ménagères à traiter

On retiendra que les eaux ménagères contribuent à 80% du volume et à 50%<sup>3</sup> des charges des eaux usées domestiques émises par un ménage. Ainsi, les valeurs des charges retenues (percentile 90%) pour un ménage sont décrites dans la Figure 6 ci-dessous.

	Volume en L / j	DBO <sub>5</sub> en g / j	DCO
Valeur retenue Percentile 90%	455	140	338
médiane	206	70	140
moyenne	249	77	177
max	782	469	1029

Figure 6 : Charges journalières pour les Eaux Ménagères d'un ménage type en ANC.

<sup>3</sup> La bibliographie retient une valeur de 40%. Cette proportion a été surévaluée à 50% volontairement par mesure de précaution. Cette sécurité correspond de fait à l'éventuelle présence d'urines à traiter (annexe 1). Les bases des charges à traiter utilisées pour le dimensionnement sont donc identiques en absence ou présence d'urine dans les eaux ménagères.

## 2. Dimensionnement

Les calculs de dimensionnement se basent sur les valeurs de caractérisation du percentile 90% de la Figure 6 ci-dessus.

### i. Méthode de calcul

C'est le plus souvent sur la référence Irstea de 2004 (Molle *et al.*, 2004), utilisé en assainissement collectif pour des EUD, que la surface totale du 1<sup>er</sup> étage est calculée. Avec une méthodologie identique, il est proposé ci-après une base de dimensionnement calculée sur le paramètre de la DCO comme cela se fait pour les FP<sub>v</sub> des petites collectivités. Là où plusieurs références pourraient être interprétées et adaptées à un contexte d'ANC (Boutin *et al.*, 2010; Lombard Latune & Molle, 2017; Molle *et al.*, 2004), il est proposé de se baser sur la dernière publication internationale en date sur les filières par FP<sub>v</sub> en France (Dotro *et al.*, 2017). Cette publication est la référence pour la conception des FP<sub>v</sub> en France et elle reprend la méthodologie de la référence Irstea de 2004 incrémentée de nouveaux retours d'expériences. Les charges associées au filtre en fonctionnement d'un 1<sup>er</sup> étage vertical sont définies dans la Figure 7 ci-dessous.

Référence		Valeur (Dotro <i>et al.</i> , 2017)	Unité
Contexte		Petites collectivités, France	-
Nombre de filtres composant le 1 <sup>er</sup> étage		3	unité
Charge organique surfaccique	DCO	350	g / m <sup>2</sup> / jour
	MES	150	
	DBO <sub>5</sub>	150	
Charge hydraulique surfaccique	moyenne	37,5	cm / jour
	maximale	60	

Figure 7 : Charges admises en Assainissement Collectif sur le filtre en fonctionnement du 1<sup>er</sup> étage d'un FP<sub>v</sub> en EUD

Sur la base de la Figure 7, il est proposé de suivre la méthode suivante pour calculer le dimensionnement :

1. Calcul de la surface minimale pour que la charge hydraulique sur le filtre en fonctionnement ne dépasse qu'occasionnellement 37,5 cm mais jamais 60 cm.
2. Calcul de la surface minimale pour le traitement de la matière organique sur la base de la DCO et de la DBO<sub>5</sub>. Une règle implicite est que le dimensionnement sur la base de la DCO maintient des conditions aérobies favorables à une bonne nitrification (Lombard-Latune *et al.*, 2016). C'est alors la DCO qui est la base des calculs de dimensionnement. Il a donc été choisie de réaliser les calculs à la fois sur la DCO et sur la DBO<sub>5</sub>.  
Le calcul à partir de la DCO est ci-après volontairement réalisé sur la base de 2 filtres fonctionnant en alternance comme cela est communément pratiqué en ANC. Cette gestion est simplifiée par rapport à la pratique de l'AC pour laquelle l'alternance a lieu sur 3 FPR<sub>v</sub>.
3. Retenir la surface la plus importante parmi les 3 valeurs calculées.
4. Vérification que la surface requise permet effectivement le rejet par infiltration des EM traitées, c'est-à-dire que la perméabilité du sol ne soit pas un facteur limitant pour l'évacuation sous-jacente des eaux traitées. Une redéfinition des surfaces minimales peut ensuite être réalisée si besoin.

ii. Surface de traitement nécessaire

**Charge hydraulique surfacique journalière**

Le calcul de la surface minimale se fait sur le filtre en fonctionnement à partir de la charge hydraulique maximale surfacique journalière (CH) de référence, sur la base du calcul suivant :

$$S_{\text{hydraulique minimum}} = V_{\text{EM } 90\%} / (0,01 \cdot \text{CH})$$

Référence	Valeur	Unité
Charge hydraulique maximale préconisée pour des EUB	60,0	cm / m <sup>2</sup>
Surface minimale du filtre en fonctionnement pour 0.455 m <sup>3</sup> d'EM	0.77	m <sup>2</sup>

Figure 8 : Surface minimale d'un filtre FP<sub>V</sub>-EM en fonctionnement

Ainsi, la Figure 8 définit comme minimale la surface de 0,77 m<sup>2</sup> pour le filtre en fonctionnement.

L'analyse de la littérature sur le traitement des Eaux Ménagères par FP<sub>V</sub> seul (voir la Figure 9), montre des charges hydrauliques moyennes hétérogènes et relativement faibles, tandis que les pratiques d'Irstea en EUD reposent sur des valeurs maximales. Elles fournissent alors des charges hydrauliques surfaciques maximales.

Référence	Pierre et Terre	Aquatiris	(Williams <i>et al.</i> , 2008; Winward <i>et al.</i> , 2008)	(Memon <i>et al.</i> , 2017)	(Morel <i>et al.</i> , 2006)	(Pillai & Vijayan, 2012)
	(Brun <i>et al.</i> , 2017)					
Effluent, spécificité	EM sans prétraitement	EM sans prétraitement	EM sans prétraitement avec une cuve de pompage	EM, 2 cuves de collecte amont	EM prétraitées	EM sans prétraitement
Charge hydraulique du filtre en fonctionnement cm / jour	2,1	5,6	8	4,5	5-10	13,7

Figure 9 : Charges hydrauliques moyennes employées pour des FP<sub>V</sub>-EM

La surface minimale acceptable pour respecter une charge hydraulique maximale de référence est donc de 0,77 m<sup>2</sup>.

Le volume journalier d'EM maximum de 782 L par ménage, répartie avec une charge hydraulique surfacique maximum de 60 cm, donnerait une surface de lit en alimentation nécessaire de 1.30 m<sup>2</sup>.

**Charge organique surfacique journalière**

L'analyse développée ici repose sur la surface de filtration totale du 1<sup>er</sup> étage du filtre en fonctionnement. Le raisonnement est réalisé sur l'ensemble des filtres (ou un étage) qui, en assainissement collectif est constitué e 3 filtres distincts.

Pour l'ANC, il est fait le choix de ne réaliser que 2 filtres, alimentés en alternance et de générer ainsi 2 zones ou 2 filtres comme cela est communément pratiqué (voir Figure 1).

Ce raisonnement amène à considérer des surfaces de filtration minimum par ménage de 2.89 m<sup>2</sup> telles que présentées dans la Figure 10.

$$S_{\text{DCO}} = \text{Charge DCO EM} / \text{Charge DCO surfacique}$$

Référence	Valeur	Unité
Charge organique surfacique en DCO du 1 <sup>er</sup> étage selon (Dotro <i>et al.</i> , 2017)	117 (= 350/3)	g / m <sup>2</sup> / jour
Surface minimale totale des 2 filtres pour 338 g DCO/jour	2,89	m <sup>2</sup>

Figure 10 : Surface minimale de la totalité de l'étage de FP<sub>V</sub>-EM pour la DCO



Une démarche similaire est appliquée pour la DBO<sub>5</sub> :

$$S_{\text{DBO}_5} = \text{Charge DBO}_5 \text{ EM} / \text{Charge DBO}_5 \text{ surfacique}$$

Référence	Valeur	Unité
Charge organique surfacique en DBO <sub>5</sub> du 1 <sup>er</sup> étage selon (Dotro <i>et al.</i> , 2017)	50 (=150/3)	g / m <sup>2</sup> / jour
Surface minimale totale des 2 filtres pour 140 g DBO <sub>5</sub> /jour	2,80	m <sup>2</sup>

Figure 11 : Surface minimale des FP<sub>v</sub>-EM pour la DBO<sub>5</sub>

Pour la DBO<sub>5</sub>, la surface minimale nécessaire à son traitement est de 2.80 m<sup>2</sup> par ménage telle que présentée dans la Figure 11.

Les exigences des surfaces nécessaires déterminées pour les trois paramètres sont résumées dans la Figure 12.

Référence		Valeur	Unité
S minimale	charge hydraulique	0,77 x 2 = 1,44	m <sup>2</sup>
	DCO	2,89	m <sup>2</sup>
	DBO <sub>5</sub>	2,80	m <sup>2</sup>

Figure 12 : Résumé des surfaces minimales nécessaires pour les FP<sub>v</sub>-EM

C'est le seuil calculé sur la base de la DCO qui est le plus exigeant, il faut dimensionner sur cette base, arrondie à 3 m<sup>2</sup> pour un ménage type en 2 filtres. Une alimentation alternée du FP<sub>v</sub>-EM sur 2 zones de 1,5 m<sup>2</sup> chacune favorise, entre autre, la décomposition de la matière organique en surface des filtres. Ce dimensionnement est adapté au foyer comprenant jusqu'à 4-5 EH.

Ainsi, la charge hydraulique journalière appliquée au filtre en fonctionnement, dont la moyenne est de 16.6 cm, ne dépasse pas, dans 90 % des cas, 30.3 cm. Cette valeur est inférieure à l'exigence classique fixée à 37,5 cm (Figure 7).

Au regard des charges hydraulique et organique ci-dessus, un dimensionnement à 3 m<sup>2</sup> de la filière de traitement des eaux ménagères par FP<sub>v</sub>, constituée de 2 filtres identiques, est proposé pour 4 à 5 EH.

### iii. Surface nécessaire à l'infiltration des Eaux Ménagères traitées

La perméabilité du sol en place peut être un élément contraignant de l'infiltration des EM traitées. Pour infiltrer dans le sol le volume d'EM traité journalier de **455 L**, la Figure 13 définit la perméabilité seuil de 12,6 mm/h correspondant à la surfaces minimale requise de 3 m<sup>2</sup>, calculée à partir de l'équation :

$$S_{\text{filtre}} = Q / K = [\text{m}^3/\text{h}] / [\text{mm}/\text{h}] = [10^{-3} \text{ m}^2] = (0, 455 / 24) / K$$

K	Surface du filtre en fonctionnement	Surface totale
mm / h	m <sup>2</sup>	
12,6	1,5	3

Figure 13 : Résumé des surfaces minimales nécessaires pour l'infiltration des EM traitées

Pour des capacités d'infiltration supérieures à 12,6 mm/h, la surface totale minimale de 3 m<sup>2</sup> nécessaire au traitement permet également l'infiltration souterraine.

Pour des capacités d'infiltration inférieures à 12,6 mm/h, la surface totale minimale de 3 m<sup>2</sup> nécessaire au traitement n'est pas suffisante pour une infiltration souterraine de la totalité des eaux traitées.

Le dimensionnement de 2 filtres de 1,5 m<sup>2</sup> chacun permet l'infiltration des EM traitées lorsque les capacités d'infiltration du sol sont supérieures à 12.6 mm/h, étendue par précaution à 15 mm/h.

#### *iv. EH supplémentaire*

La référence utilisée pour définir la pollution émise en EM par un EH supplémentaire est celle couramment utilisée, tant en assainissement collectif que non collectif à laquelle s'appliquent les ratios de proportion entre les EUD et les EM définis par la bibliographie.

L'ajout d'un EH supplémentaire génère en Eaux Ménagères :

- Une charge hydraulique journalière de 120 L maximum par jour (80 % de 150 L). Pour une charge hydraulique surfacique appliquée maximale de 60 cm, c'est une surface de 0,20 m<sup>2</sup> pour le filtre en fonctionnement supplémentaire qui est nécessaire.
- Une charge organique journalière de DCO à 60 g (50 % de 120 g) maximum par jour. Dans un contexte évoqué ci-dessus de charge surfacique journalière appliquée de 117g DCO/m<sup>2</sup> c'est une surface supplémentaire nécessaire de 0,51 m<sup>2</sup>.
- Une charge organique journalière de DBO<sub>5</sub> à 30 g (50 % de 60 g) maximum par jour. Dans un contexte évoqué ci-dessus de charge surfacique journalière appliquée de 50g DBO<sub>5</sub>/m<sup>2</sup> c'est une surface supplémentaire nécessaire de 0,60 m<sup>2</sup>.

Ainsi, en gardant les mêmes charges surfaciques journalières définies pour des filtres d'un ménage type de 4-5 EH en eaux ménagères, il convient d'ajouter 0,40 m<sup>2</sup>, 0,51 m<sup>2</sup> ou 0,60 m<sup>2</sup> selon le paramètre, à savoir respectivement la charge hydraulique, la DCO ou la DBO<sub>5</sub>.

Il est intéressant de noter que pour le traitement des EM, ce dimensionnement de 0,60 m<sup>2</sup> / EH correspond :

- à 50 % de celui pratiqué en collectif (1,2 m<sup>2</sup>/EH pour le 1<sup>er</sup> étage du FP<sub>V</sub>).
- à 30 % de celui pratiqué dans le cadre d'agréments en ANC pour des FP<sub>V</sub> (voir Figure 1 : 2 m<sup>2</sup> / EH en moyenne pour le 1<sup>er</sup> étage du FP<sub>V</sub>).

Dans ces conditions, le maximum de 0,60 m<sup>2</sup> / EH supplémentaire est retenu.



### 3. Le massif filtrant

La percolation des eaux ménagères à travers un massif aérobie aux nombreuses interfaces permet la dégradation de la DCO et de la DBO<sub>5</sub> mais aussi des tensio-actifs contenus dans les produits ménagers (Wiel-Shafran *et al.*, 2006).

#### i. Caractéristiques du garnissage des filtres

Concernant la composition du massif filtrant d'un 1<sup>er</sup> étage à flux vertical, la Figure 14 démontre une forte hétérogénéité des pratiques dont il est difficile de tirer des enseignements. Ce constat confirme le diagnostic fait pour les FP<sub>v</sub> comme étant une filière robuste face aux variations de charge.

Dans un processus d'identification du massif filtrant optimal, la difficulté consiste à cibler l'assemblage de matériaux qui soit suffisamment grossier pour permettre la circulation de l'air et suffisamment fin pour s'assurer d'un contact minimum avec les eaux ménagères à traiter. Cet assemblage doit également être disponible dans les gisements du territoire français.

Référence	Pierre et Terre (Brun <i>et al.</i> , 2017)			Aquatiris (Brun <i>et al.</i> , 2017)			(Williams <i>et al.</i> , 2008; Winward <i>et al.</i> , 2008)			
Végétaux	Phragmites australis / iris / menthe / scirpe			Phragmites australis / iris / épilobe			Phragmites australis			
Surface	Type	Epaisseur (cm)	Granulo (mm)	Type	Epaisseur (cm)	Granulo (mm)	Type	Epaisseur (cm)	Granulo (mm)	
	<b>couche 1</b>	Pouzzolane	25	7 - 14	Compost	5	NR	Compost	7	0-1
	<b>couche 2</b>	Gravier	25	20 - 40	Sable	10	0 - 10	Sol	17,5	NR
	<b>couche 3</b>				Gravier	30	4 - 8	Sable	45,5	NR
	<b>couche 4</b>				Gravier	20	15 - 25	Gravier	10	20
Référence	(Memon <i>et al.</i> , 2017)			(Morel <i>et al.</i> , 2006)			(Pillai & Vijayan, 2012)			
Végétaux	Phragmites karka / Typha elephantina/ Cyperus iria			Phragmites australis			Comparaison Vetiver et Lemon Grass			
Surface	Type	Epaisseur (cm)	Granulo (mm)	Type	Epaisseur (cm)	Granulo (mm)	Type	Epaisseur (cm)	Granulo (mm)	
	<b>couche 1</b>	Terre + fumier	15,75	NR	Sable	40 - 60	0,2-2	Gravier	2	6-8
	<b>couche 2</b>	Limon	24,85	NR	Gravier	40 - 60	2-20	Coco broyée	5	
	<b>couche 3</b>	Sable	29,75	NR				Sable	12	0,2-2
	<b>couche 4</b>							Gravier	5	6-8

Figure 14 : Végétaux et massifs filtrants pour des FP<sub>v</sub>-EM dans la bibliographie

Les EM ayant de faibles taux de MES par rapport aux EUD, la couche superficielle du filtre doit permettre de ralentir les écoulements de surface et favoriser une bonne répartition sur l'ensemble de la surface des filtres. En référence à la Figure 14, cette couche filtrante de surface est assurée par un matériau organique localement disponible (compost, sol, fumier, coco-broyée) ou par un matériau minéral (sable ou gravier fin). L'emploi d'un broyat de bois, non référencé à la Figure 14 (Dalahmeh *et al.*, 2011; Lemieux & Lachance, 2000), peut également assurer ces fonctions de filtration et de répartition de surface avec efficacité.

Il est à noter que l'élaboration du choix d'un massif de filtration optimal se fait dans le contexte actuel dans lequel les constructeurs et les maîtres d'œuvre font déjà face à une pénurie de certains types de matériaux en fonction de leur implantation géographique, comme le 20/40 mm dans le sud-ouest. Ils s'interrogent sur la meilleure solution alternative à mettre en place notamment par l'emploi d'une granulométrie reconstituée. Quels qu'en soient les usages, des biais sont à éviter comme ceux causés par des gisements reconstitués qui peuvent engendrer tassement ou colmatage. C'est alors que le broyat de bois intervient positivement par son action anti-colmatage des sols (Barthès *et al.*, 2010).

Au regard des expériences françaises en assainissement collectif (voir Figure 15), la couche principale de filtration est d'une épaisseur de 30 cm minimum avec un sable grossier (ou d'un gravier). Une granulométrie de 2 à 6 mm apparaît comme étant un compromis optimal des pratiques présentées dans les Figure 14 et 15, pour les EM, afin de limiter au maximum un transfert rapide de l'effluent dans les couches sous-jacentes.

(Alexandre <i>et al.</i> , 1998)		(Groupe français "Macrophytes et traitement des eaux," 2005)		(Mage 42, 2007)		(Satese 56, 2008)		(Boutin <i>et al.</i> , 2010)		(Molle, 2012; Molle <i>et al.</i> , 2004)		(Service d'aide à la gestion de l'assainissement 16, 2012)		(Dotro <i>et al.</i> , 2017)	
Ep. (cm)	granulo (mm)	Ep. (cm)	granulo (mm)	Ep. (cm)	granulo (mm)	Ep. (cm)	granulo (mm)	Ep. (cm)	granulo (mm)	Ep. (cm)	granulo (mm)	Ep. (cm)	granulo (mm)	Ep. (cm)	granulo (mm)
50	gravier	50	2-8	50	2-8	30	2-8		4-8		2-8	30	2-5 ou 3-6 ou 2-8	30 à 80	2-6
10	transition					10 à 20	5-10		8-16	10 à 20	5-20	10 à 20	10-20 ou 15-25	10 à 20	5-15
15	drainante		20-60		20-60	10 à 20	20-60		20-40	10 à 20	20-40	10 à 20	30-60 ou 20-40	20 à 30	20-60

Figure 15 : Massif filtrants pour des FPv pour des EUD en AC

Une couche de transition de 10 cm de gravier 5-10 mm permet d'éviter à la couche de surface d'être lessivée dans le drain.

Au fond du lit, une couche d'aération de 10 cm de gravier grossier 10-40 mm, granulométrie validée dans la NF-DTU 64.1, doit être positionnée. Dans le cas des filtres drainés, l'épaisseur de la couche drainante doit atteindre 15 cm pour bien recouvrir le drain.

La composition du massif filtrant est résumée dans la Figure 16.

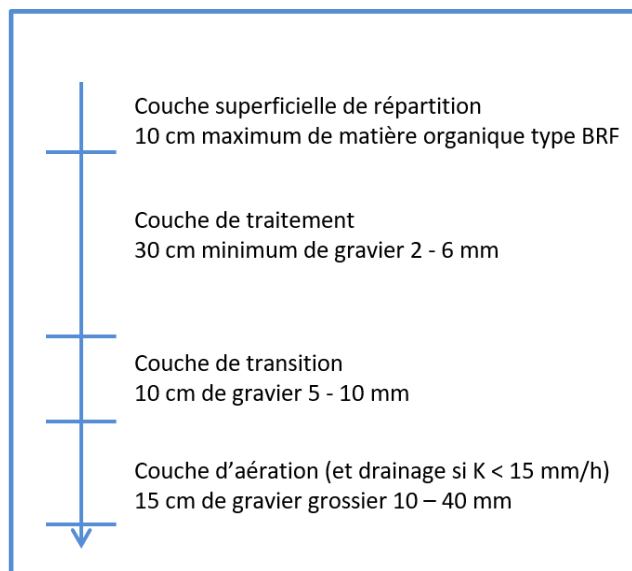


Figure 16 : Descriptif du massif filtrant pour des FPv-EM

La hauteur totale minimale du FPv-EM est alors de 60 cm avec une hauteur minimale de couche de traitement de 30 cm.

## ii. Mode d'alimentation

Les filtres sont alimentés au fil de l'eau. La faible surface à mouiller (1.5 m<sup>2</sup>) et la composition de la couche superficielle du massif filtrant, présentés dans la Figure 16 permettent une bonne répartition des eaux ménagères sur l'ensemble de sa surface. Les filtres sont alimentés en surverse pour éviter des problèmes de colmatage dans la conduite d'adduction qui est gravitaire.

Pour éviter les phénomènes d'affouillement en surface des filtres, un dispositif supplémentaire de dispersion peut être mis en place comme une plaque anti-affouillement ou un rocher.

En cas d'impossibilité technique d'adduction gravitaire, un poste de relevage peut être installé dans le respect de la NF-DTU 64.1. L'alimentation peut alors se faire par bâchée (auget, chasse, etc.).

## 4. Les plantes

Plusieurs études comparatives ont été menées sur des FP<sub>v</sub> plantés avec différentes espèces (Mars *et al.*, 1999; Mars *et al.*, 2003; Pillai & Vijayan, 2012; Yulistyorini *et al.*, 2019). Pour ces pilotes hors sol, les auteurs concluent à des performances épuratoires meilleures quand les filtres sont plantés. Cependant, l'influence de l'essence de la plante employée est moins nette. L'emploi des plantes a un effet bénéfique notamment sur les tensio-actifs contenus dans les détergents (Kadewa *et al.*, 2010). Les autres actions recherchées de la plante sont principalement (EPNAC, 2014) :

- Mécaniques : Diminution du colmatage de surface avec un effet aérobie de circulation de l'air dans les filtres associés à une augmentation de la surface du support des rhizomes pour l'activité bactérienne. Les rhizomes défavorisent aussi la création d'écoulements préférentiels.
- Paysagères : effet couvrant qui favorise la biodiversité.

Les plantes n'effectuent pas l'épuration de l'effluent mais améliorent, par leur présence, le fonctionnement du filtre. Comme le souligne la Figure 14, c'est une diversité de plantes hydrophytes qui est utilisée en fonction des lieux d'implantation des filières. En France, pour les eaux ménagères, le roseau *Phragmites australis* est communément utilisé. La plante, au-delà des actions recherchées, doit pouvoir résister à un large spectre de conditions (sécheresse, absence de nutriments, etc.) et nécessiter peu d'entretien. Il est donc proposé, sur la base des retours d'expériences solides en AC, de préconiser l'emploi du roseau commun du genre *Phragmites australis* dans sa zone de répartition naturelle. Ces végétaux peuvent-être plantés avec une densité de 4 à 8 plants/m<sup>2</sup> (Lombard-Latune & Molle, 2017). C'est ce qui est déjà pratiqué en ANC (voir Figure 1).

Il existe plusieurs cas d'impossibilité du recours à *Phragmites australis* comme son absence naturelle de certaines zones et son potentiel risque d'invasion s'il est introduit. Ce constat amène à réfléchir à l'emploi d'essences de substitution. Dans les départements d'outre-mer les essences suivantes sont préconisées : *Heliconia psittacorum*, *Canna indica* / *Canna glauca*, *Cyperus alternifolius* / *Cyperus involucratus* (Lombard-Latune & Molle, 2017). Pour les zones à enjeux environnementaux comme les zones cœurs de parcs naturels en milieu montagnard, l'essence idéale n'est pas encore identifiée. Les travaux réalisés sur les filtres plantés à flux vertical en montagne ne permettent pas à ce jour de cibler une autre essence qui serait naturellement présente (Molle *et al.*, 2017).

### c) Recommandations d'entretien

En prévision de la révision à venir de l'arrêté du 27 avril 2012 relatif aux modalités de l'exécution de la mission de contrôle des installations d'ANC, il est proposé dans cette section des modalités d'entretien des filtres plantés à flux vertical pour le traitement des eaux ménagères (FPv-EM).

#### 1. Principe et modalités de fonctionnement

Les eaux ménagères brutes sont traitées en arrivant en surverse sur un dispositif anti-affouillement des filtres plantés à flux vertical. La percolation à travers le massif filtrant permet un traitement biologique aérobie à cultures fixées sur support fin grâce aux bactéries présentes dans le milieu. Les plantes hydrophytes employées permettent de limiter le risque de colmatage et de réduire les nuisances olfactives tout en favorisant l'activité bactérienne aérobie nécessaire à la dégradation des pollutions organiques et carbonées. L'effluent peut ensuite être directement infiltré dans le sol en fonction des caractéristiques de ce dernier. Le FPv-EM est un dispositif gravitaire qui ne nécessite pas d'équipement électromécanique sauf cas particulier (topographie de parcelle défavorable par exemple). La production végétale est faucardée annuellement. Le dispositif est divisé en 2 filtres identiques alimentés en alternance une semaine sur 2 afin de favoriser la dégradation de la matière organique de surface.

#### 2. Modalités d'entretien

La Figure 17 ci-dessous décrit la liste des opérations d'entretien et leur fréquence pour des FPv qui traitent des EM.

Liste des opérations	Fréquence
Alternance de l'alimentation des filtres. Surveillance et contrôle.	1 fois par semaine
Entretien des espaces verts autour des filtres. Arrachage des mauvaises herbes manuellement. Evacuation au compost des végétaux.	1 fois par mois
Faucardage et entretien de la surface des filtres. Les matières de faucardage sont alternativement compostées ou utilisées en paillage sur le lit d'une année sur l'autre.	1 fois par 1 an
Maintien d'une couche organique (type broyat de bois ou matières de faucardage) de surface de 10 cm.	1 fois par 1 an
Extraction des dépôts de surface, si risque de colmatage ou épaisseur supérieure à 10 cm, et renouvellement de la couche superficielle organique.	1 fois par 10 ans
Renouveler si besoin les matériaux du massif filtrant.	En cas de colmatage

Figure 17 : Opérations d'entretien et fréquence

#### 3. Règles de sécurité

Les règles de sécurité d'implantation du FPv-EM (distances vis-à-vis du bâtiment, limites de propriété, puits, arbres) sont celles spécifiées dans l'arrêté « Prescriptions Techniques » et dans la NF-DTU 64.1. La stabilité de l'ouvrage est réalisée par sa construction dans le sol en place et par un remplissage en gravier.

L'effluent qui ne contient pas d'excréments, n'engendre pas la nécessité d'équiper les filtres d'une grille de protection permanente. Toutefois, l'accès à la zone d'implantation des filtres doit être limité.

Il n'y a pas d'eau stagnante en surface des filtres en condition normale de fonctionnement. Les eaux ménagères sont directement infiltrées, il n'y a donc pas possibilité de gîtes à moustiques.

Lors des travaux d'entretien, les consignes et règles d'hygiène générales de base doivent être respectés (se laver les mains, ...).

## IV. Conclusion : recommandations pour une rédaction règlementaire

Les filtres plantés à flux vertical pour le traitement des eaux ménagères (FP<sub>v</sub>-EM) est décrit ci-dessous de la même manière que les dispositifs décrits dans l'annexe 1 « Caractéristiques techniques et conditions de mise en œuvre des dispositifs de l'installation d'assainissement non collectif » de l'arrêté Prescriptions Techniques de 2009 revu en 2012. Ces recommandations n'excluent pas des adaptations à des situations particulières comme les zones tropicales ou de montagne par exemple.

- **La filière par Filtres Plantés à flux vertical pour les eaux ménagères (FP<sub>v</sub>-EM)**

La filière par FP<sub>v</sub>-EM est constituée d'une fouille unique. Elle comporte une alimentation en surface sur un dispositif anti-affouillement permettant un épandage dans un massif propre rapporté formant un sol reconstitué. Ce sol reconstitué est composé d'une couche de répartition d'une épaisseur de 0,10 m qui peut être organique de type broyat de bois, d'une couche filtrante d'une épaisseur minimale de 0,30 m de gravier d'une granulométrie de type 2/6 mm ou approchant qui assure le traitement des eaux usées ménagères, suivie d'une couche de transition de 0,10 m de gravier d'une granulométrie de type 5/10 mm. Au fond des filtres, un drain d'aération posé dans une couche d'une épaisseur de 0,15 m de gravier grossier d'une granulométrie de type 10/40 mm ou approchant assure l'aération. Ce drain d'aération est placé en plan, à la perpendiculaire du tuyau d'alimentation; il est connecté à l'air libre en surface du filtre.

Si la capacité d'infiltration du sol est inférieure à 15 mm/h, un drain de collecte posé dans la couche de gravier grossier (10/40 mm) à la base des FP<sub>v</sub>-EM, permet d'effectuer la reprise des effluents. Ce drain de collecte est placé en plan, à l'opposé du tuyau d'alimentation de l'effluent.

Les plantes employées sont hydrophytes et choisies en fonction de la zone géographique de l'implantation de l'ouvrage, elles sont plantées avec une densité de 4 à 8 plants/m<sup>2</sup>.

Pour les immeubles d'habitation, la surface totale des FP<sub>v</sub>-EM est au moins égale à 3 m<sup>2</sup> jusqu'à 5 EH. L'ouvrage est scindé en 2 filtres identiques de 1,5 m<sup>2</sup> chacun et les filtres sont alimentés en alternance une semaine sur 2. Pour plus de 5 EH, la surface des filtres est augmentée de 0,60 m<sup>2</sup> par habitant supplémentaire.

## Annexe 1 : Charges polluantes des urines comparées à celles des eaux ménagères

Cette annexe a pour objet de quantifier les charges polluantes induites par les urines et d'évaluer l'impact de leur introduction sur les bases de dimensionnement proposées pour un traitement conjoint des eaux ménagères et des urines.

Les charges hydrauliques ou organiques journalières correspond à un ménage de 4 à 5 personnes sont évaluées à partir de la bibliographie et extrapolées au nombre d'habitants présents (Figure 18).

Sans surprise, les volumes d'urine sont faibles et le maximum s'établit à moins de 7L pour un ménage.

Pour un ménage moyen de 2,5 habitants, la charge supplémentaire organique journalière des urines correspond à 15 g de DCO et 40 g de DBO<sub>5</sub>. Le calcul basé sur la présence de 5 personnes correspond à un maximum de 30 g de DCO et 80 g de DBO<sub>5</sub>.

Urine	Valeur	Source	Référence	Charge hydraulique L/jour	Charge organique DBO <sub>5</sub> DCO g/jour	
	Moyenne	Eme et al. 2015	personne		1,25	6
Moyenne	Extrapolation à 4-5 EH	ménage à 2,5 personnes		3	15	40
		ménage à 5 personnes		6,25	30	80

Figure 18 : Charges journalières des urines dans un ménage.

Dans le présent document, les charges polluantes des eaux ménagères ont été évaluées à partir des proportions définies dans la bibliographie entre eaux ménagères et eaux usées domestiques. Le ratio est de 80% pour la charge hydraulique et de 40% (arrondi à 50% par sécurité) pour la charge organique.

Eaux Ménagères	Valeur	Reference	Charge hydraulique L/jour	Charge organique g /jour					
			80% des EUD	Si 50% des EUD		Si 40% des EUD		Marges sécurité	
			DBO <sub>5</sub>	DCO	DBO <sub>5</sub>	DCO	DBO <sub>5</sub>	DCO	
Percentile 90%		ménage	<b>455</b>	<b>140</b>	<b>338</b>	112	270	28	67

Figure 19: Marges de sécurité dans l'évaluation des charges polluantes des eaux ménagères.

Ainsi, les calculs retenus pour l'estimation des charges organiques (Figure 19) conduisent à sécuriser le dimensionnement avec des marges de sécurité évaluées à 28 g DBO<sub>5</sub>/j et 67 g DCO/j. Ces marges sont très proches des charges organiques évaluées pour les urines (Figure 18).

C'est pourquoi les urines peuvent être traitées simultanément aux eaux ménagères sans modification des bases de dimensionnement.

## Bibliographie

- Agence de Bassin Loire-Bretagne. (1980). *L'assainissement-individuel: principes et techniques actuelles*. Orléans.
- Alexandre, O., Boutin, C., Duchène, P., Lagrange, C., Lakel, A., Liénard, A., & Orditz, D. (1998). *FNDAE n°22: Filières d'épuration adaptées aux petites collectivités*. Lyon.
- Allen, L., Christian-Smith, J., & Palaniappan, M. (2010). *Overview of Greywater Reuse: The Potential of Greywater Systems to Aid Sustainable Water Management*. Retrieved from <http://pacinst.org/publication/pacific-institute-analyzes-the-potential-of-greywater-reuse-in-a-new-report/>
- Arden, S., & Ma, X. (2018). Constructed wetlands for greywater recycle and reuse: A review. *Science of the Total Environment*, 630, 587–599. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.218>
- Barthès, B. G., Manlay, R. J., & Porte, O. (2010). Effets de l'apport de bois raméal sur la plante et le sol : une revue des résultats expérimentaux. *Cah Agric*, 19, 280–287. <https://doi.org/10.1684/agr.2010.0412>
- Boutin, C., Prost-Boucle, S., & Boucher, M. (2010). *Étude des filtres plantés de roseaux dimensionnés pour des campings*. Irstea Lyon-Villeurbanne.
- Brun, F., Merotto, C., Campan, C., & Torrent, B. (2017). *Caractérisation des Eaux Ménagères domestiques et de filières de traitement associées - Rapport de suivi in situ*. Retrieved from <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01803150>
- Bulteau, G. (2013). *Présentation des activités liées à la réutilisation des eaux grises*. Nantes: CSTB.
- Dalahmeh, S. S., Hylander, L. D., Vinnerås, B., Pell, M., Öborn, I., & Jönsson, H. (2011). Potential of organic filter materials for treating greywater to achieve irrigation quality: A review. *Water Science and Technology*, 63(9), 1832–1840. <https://doi.org/10.2166/wst.2011.387>
- Deshayes, S. (2015). *Identification des sources de phtalates et d'alkylphénols en milieu urbain*. Université Paris Est.
- Dotro, G., Molle, P., Nivala, J., Puigagut, J., & Stein, O. (2017). *Treatment Wetlands* (IWA publis, Vol. 7). <https://doi.org/10.2166/9781780408774>
- Eme, C., & Boutin, C. (2015). *Composition des eaux usées domestiques par source d'émission à l'échelle de l'habitation - Etude bibliographique*. 90p. Irstea Lyon Villeurbanne
- EPNAC. (2014). *Lumières sur le véritable rôle des végétaux dans le traitement des eaux usées*. Irstea Lyon-Villeurbanne.
- Ghaitidak, D. M., & Yadav, K. D. (2013). Characteristics and treatment of greywater-a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 20(5), 2795–2809. <https://doi.org/10.1007/s11356-013-1533-0>
- Ghunmi, L. A., Zeeman, G., Fayyad, M., & Van Lier, J. B. (2011). Grey water treatment systems: A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 41(7), 657–698. <https://doi.org/10.1080/10643380903048443>
- Gross, A., Shmueli, O., Ronen, Z., & Raveh, E. (2007). Recycled vertical flow constructed wetland (RVFCW)-a novel method of recycling greywater for irrigation in small communities and households. *Chemosphere*, 66(5), 916–923. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2006.06.006>
- Gross, A., Sklarz, M. Y., Yakirevich, A., & Soares, M. I. M. (2008). Small scale recirculating vertical flow constructed wetland (RVFCW) for the treatment and reuse of wastewater. *Water Science and Technology*, 58(2), 487–494. <https://doi.org/10.2166/wst.2008.367>
- Groupe français "Macrophytes et traitement des eaux." (2005). *Épuration des eaux usées domestiques par filtres plantés de macrophytes. Recommandations techniques pour la conception et la réalisation* (Vol. 1). Lyon: Agence de l'Eau RMC et RM.
- Jefferson, B., Palmer, A., Jeffrey, P., Stuetz, R., & Judd, S. (2004). Grey water characterisation and its impact on the selection and operation of technologies for urban reuse. *Water Science and Technology*, 50(2), 157–164.
- Jokerst, A. W., Roesner, L. A., & Sharvelle, S. E. (2009). *An Evaluation of Graywater Reuse Utilizing a Constructed Wetland Treatment System*. 1–10. [https://doi.org/10.1061/41036\(342\)561](https://doi.org/10.1061/41036(342)561)



- Kadewa, W. W., Le Corre, K., Pidou, M., Jeffrey, P., & Jefferson, B. (2010). Comparison of grey water treatment performance by a cascading sand filter and a constructed wetland. *Water Science and Technology*, 62(7), 1471–1478. <https://doi.org/10.2166/wst.2010.395>
- Laferrère, A., Pouliquen, E., & Rougerie, C. (2017). *Les conditions de logement en France*. Paris.
- Lemieux, G., & Lachance, L. (2000). *Une tentative d'évaluation de la technologie BRF pour des fins maraîchères* (Groupe de Coordination sur les Bois Raméaux, Ed.). Université de Laval à Québec.
- Li, F., Wichmann, K., & Otterpohl, R. (2009). Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses. *Science of the Total Environment*, 407(11), 3439–3449. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.02.004>
- Lombard-Latune, R., Mangeot, L., Pelus, L., L'étang, F., Fina, N., Le Guénnec, B., & Molle, P. (2016). Compact unsaturated/saturated vertical flow constructed wetland system under tropical conditions: Nitrogen removal and footprint reduction. In G. Magdalena, M.-L. Karolina, & W. Ewa (Eds.), *15th International conference on wetland systems for water pollution control* (Vol. 1, p. 367). Gdansk: International Water Association.
- 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*. (Guides et; V. Barre & B. Gentil-Salasc, Eds.). Agence Française pour la Biodiversité.
- Mars, R., Mathew, K., & Ho, G. (1999). The role of the submergent macrophyte. *Ecological Engineering*, 12, 57–66.
- Mars, R., Taplin, R., Ho, G., & Mathew, K. (2003). Greywater treatment with the submergent *Triglochin huegelii* - A comparison between surface and subsurface systems. *Ecological Engineering*, 20(2), 147–156. [https://doi.org/10.1016/S0925-8574\(03\)00010-7](https://doi.org/10.1016/S0925-8574(03)00010-7)
- Marshall, G. (1996). *Greywater Re-Use : Hardware , Health , Environment And The Law*. (October), 10–15. Perth: Permaculture Association of Western Australia Inc.
- Memon, M., Jatoti, H. B., Narejo, A. M., Mahar, R. B., Ansari, A. K., & Bhangar, M. I. (2017). Use of aquatic plants for treatment of greywater. *Pakistan Journal of Botany*, 49(Special Issue), 375–381.
- Misra, R. K., Patel, J. H., & Baxi, V. R. (2010). Reuse potential of laundry greywater for irrigation based on growth, water and nutrient use of tomato. *Journal of Hydrology*, 386(1–4), 95–102. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.03.010>
- Mission d'Assistance à la Gestion de l'Eau de la Loire MAGE. (2007). *Les filtres plantés de roseaux - Eléments de diagnostic*. Saint-Etienne.
- Molle, P. (2012). Les filtres plantés de roseaux: évolution de la recherche et tendances actuelles. *Sciences Eaux et Territoires*, 9, 24–32.
- 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, n° spécial*, 10.
- Molle, P., Prost-boucle, S., & Garcia, O. (2017). *Les Filtres Plantés de Roseaux à écoulement vertical en climat froid (montagne)*. Irstea Lyon-Villeurbanne.
- Morel, A., Diener, S., Alderlieste, M., Baumeyer, A., Bino, M. J., Burnat, J., ... Figures, S. (2006). *Greywater Management*. Retrieved from [https://sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/MOREL and DIENER 2006 Greywater Management.pdf](https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/MOREL%20and%20DIENER%202006%20Greywater%20Management.pdf)
- Oh, K. S., Leong, J. Y. C., Poh, P. E., Chong, M. N., & Lau, E. Von. (2018). A review of greywater recycling related issues: Challenges and future prospects in Malaysia. *Journal of Cleaner Production*, 171, 17–29. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.267>
- Olivier, L., Dubois, V., & Boutin, C. (à paraître). *Caractérisation des eaux usées brutes émises par les particuliers : quantité et qualité*. Irstea Lyon-Villeurbanne.
- Oteng-Peprah, M., Acheampong, M. A., & deVries, N. K. (2018). Greywater Characteristics, Treatment Systems, Reuse Strategies and User Perception—a Review. *Water, Air, and Soil Pollution*, 229(8). <https://doi.org/10.1007/s11270-018-3909-8>
- Parjane, S. B., & Sane, M. G. (2011). Performance of grey water treatment plant by economical way for Indian rural development. *International Journal of ChemTech Research*, 3(4), 1808–1815.



- Paulo, P. L., Azevedo, C., Begosso, L., Galbiati, A. F., & Boncz, M. A. (2013). Natural systems treating greywater and blackwater on-site: Integrating treatment, reuse and landscaping. *Ecological Engineering*, 50, 95–100. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.03.022>
- Paulo, P. L., Begosso, L., Pansonato, N., Shrestha, R. R., & Boncz, M. A. (2009). Design and configuration criteria for wetland systems treating greywater. *Water Science and Technology*, 60(8), 2001–2007. <https://doi.org/10.2166/wst.2009.542>
- Pidou, M., Memon, F. A., Stephenson, T., Jefferson, B., & Jeffrey, P. (2007). Greywater recycling: treatment options and applications. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Engineering Sustainability*, 160(3), 119–131. <https://doi.org/10.1680/ensu.2007.160.3.119>
- Pillai, J. S., & Vijayan, N. (2012). Decentralized greywater treatment for nonpotable reuse in a vertical flow constructed wetland. *2012 International Conference on Green Technologies, ICGT 2012*, 58–63. <https://doi.org/10.1109/ICGT.2012.6477948>
- Rapport d'expertise collective. (2015). *Analyse des risques sanitaires liés à la réutilisation d'eaux grises pour des usages domestiques*. Retrieved from <https://www.anses.fr/fr/system/files/EAUX2011sa0112Ra.pdf>
- Ridderstolpe, P. (2004). Introduction to greywater management. In *EcoSanRes Publications Series*. Retrieved from [www.ecosanres.org](http://www.ecosanres.org)
- Satèse 56. (2008). *Filtre plantés de roseaux réalisation et fonctionnement dans le Morbihan*. Vannes.
- Service d'aide à la gestion de l'assainissement (Charente-eaux). (2012). *Retour d'expériences sur la réalisation et le fonctionnement des filtres plantés de roseaux en Charente*. Angoulême.
- Tarr, J. A. (1975). From city to farm: urban wastes and the american farmer. *Agricultural History*, 49, 598–612.
- Tilley, E., Lüthi, C., Morel, A., Zurbrügg, C., & Schwertenberg, R. (2016). *Compendium des Systèmes et Technologies d'Assainissement* (2nd ed.; EAWAG: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Ed.). Retrieved from [https://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Abteilungen/sandec/schwerpunkte/sesp/CLUES/Compendium\\_French/compendium\\_fr\\_2016.pdf](https://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Abteilungen/sandec/schwerpunkte/sesp/CLUES/Compendium_French/compendium_fr_2016.pdf)
- Wiel-Shafran, A., Ronen, Z., Weisbrod, N., Adar, E., & Gross, A. (2006). Potential changes in soil properties following irrigation with surfactant-rich greywater. *Ecological Engineering*, 26(4), 348–354. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2005.12.008>
- Williams, R. F., Avery, L. M., Winward, G. P., Jeffrey, P., Smith, C. S., Liu, S., ... Jefferson, B. (2008). Constructed wetlands for urban grey water recycling. *International Journal of Environment and Pollution*, 33(1), 93. <https://doi.org/10.1504/ijep.2008.018470>
- Winblad, U. (2004). *Ecological Sanitation - revised and enlarged edition* (U. Winblad & M. Simpson-Hébert, Eds.). Stockholm, Sweden: Stockholm Environment Institute.
- Winward, G. P., Avery, L. M., Frazer-Williams, R., Pidou, M., Jeffrey, P., Stephenson, T., & Jefferson, B. (2008). A study of the microbial quality of grey water and an evaluation of treatment technologies for reuse. *Ecological Engineering*, 32(2), 187–197. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2007.11.001>
- Yulistiyorini, A., Kumala Puspasari, A., Mujiyono, & Anindya Sari, A. (2019). Removal of BOD and TSS of Student Dormitory Greywater using Vertical Sub-Surface Flow Constructed Wetland of Ipomoea Aquatica. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 515, 012056. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/515/1/012056>



**Irstea**

1, rue Pierre-Gilles de Gennes  
CS 10030  
92761 Antony Cedex

**01 40 96 61 21**

[www.irstea.fr](http://www.irstea.fr)



**Ministère de la transition écologique et  
solidaire**

Tour Séquoia  
92055 Paris-La-Défense Cedex

**01 40 81 35 37**

<https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/>