



## Guide de dimensionnement, de construction et de fonctionnement d'un filtre végétalisé.

1<sup>er</sup> avenant du Contrat N° 81120540 du 12/11/2010



Auteur – Marc Wauthélet –  
Version : 2  
Date : 11-09-2011

## Table des Matières

<b>Liste des illustrations .....</b>	<b>2</b>
<b>1. Dimensionnement et construction d'un filtre végétalisé.....</b>	<b>4</b>
1.1. Tuyauteries : types et placements	4
1.2. Pré-traitement : conception et placement	5
1.3. Le filtre végétalisé: conception	7
1.4. Le filtre végétalisé: Construction	11
<b>2. Fonctionnement d'un filtre végétalisé.....</b>	<b>16</b>
2.1. Principe général de fonctionnement.	16
2.2. Principes de dimensionnement des filtres végétalisés.	21
<b>Annexe 1 : Photos de la construction de filtres végétalisés à Dayet Ifrah</b>	<b>28</b>

## Liste des illustrations

Image 1: Schéma global des conduites d'eaux usées .....	5
Image 2: Conception d'une fosse septique .....	6
Image 3: Décanteur-digesteur.....	7
Image 4: Coupe en long d'un filtre végétalisé pour eaux usées noires et grises.....	9
Image 5: Vue aérienne d'un filtre végétalisé pour eaux usées noires et grises (exemple adapté à l'épuration des eaux de la mosquée et de l'école de Dayet Ifrah).....	10
Image 6: Vue aérienne d'un filtre végétalisé pour eaux usées grises .....	10
Image 7: Filière de traitement des eaux usées de l'école et de la mosquée de Dayet Ifrah .....	11
Image 8: Terrassement pour un filtre végétalisé .....	12
Image 9: Dalle de fond du filtre végétalisé .....	13
Image 10: Montage des murs du filtre végétalisé .....	14
Image 11: Montage des tuyauteries du filtre végétalisé.....	15
Image 12: Remplissage du filtre végétalisé .....	16

Guide de dimensionnement, de construction et de fonctionnement d'un filtre végétalisé

# 1. Dimensionnement et construction d'un filtre végétalisé.

## 1.1. Tuyauteries : types et placements

Les tuyauteries doivent être conçues pour conduire sans risque (de colmatage, de gel, de fuite,...) les eaux usées jusqu'au système de pré-traitement et au filtre végétalisé (voir image 1).

Le diamètre minimal de la conduite est de 110 mm (pour les eaux usées de 1 à 20 personnes). 200 mm sont nécessaires pour (21 à 50 personnes) et 250 à 300 mm seront choisis pour des tailles supérieures.

Les tubes PVC et les buses en béton seront enrobées d'une couche de 10 cm de sable stabilisé au ciment (150 kg de ciment par m<sup>3</sup> de sable). Les tubes PVC seront collés pour éviter toutes fuites. Ces conduites seront remblayées de sable et de terres tamisées (sans pierre, gravier,...).

En dessous de passages d'engins (voitures, camions,...), les tubes ou buses seront entourés d'un béton armé sur une épaisseur de 10 cm et seront enterrés de plus de 60 cm.

La pente minimale des conduites doit être de 2 %. Elles seront enterrées de plus de 60 cm en zones de risques de gel.

Il faut éviter les coudes à 90° et les tés qui risquent de se colmater. On préférera des formes à 45° et en Y.

Des chambres de visites (min. 50 cm x 50 cm x Prof. : 60 cm) permettront des connections de plusieurs conduites, modifications des trajets (angles importants) et des nettoyages des conduites si nécessaire. Ces chambres maçonnées en blocs de 15 cm seront couvertes de dalles amovibles en béton armé.

Tous les organes de conduites doivent être étanches.

Guide de dimensionnement, de construction et de fonctionnement d'un filtre végétalisé

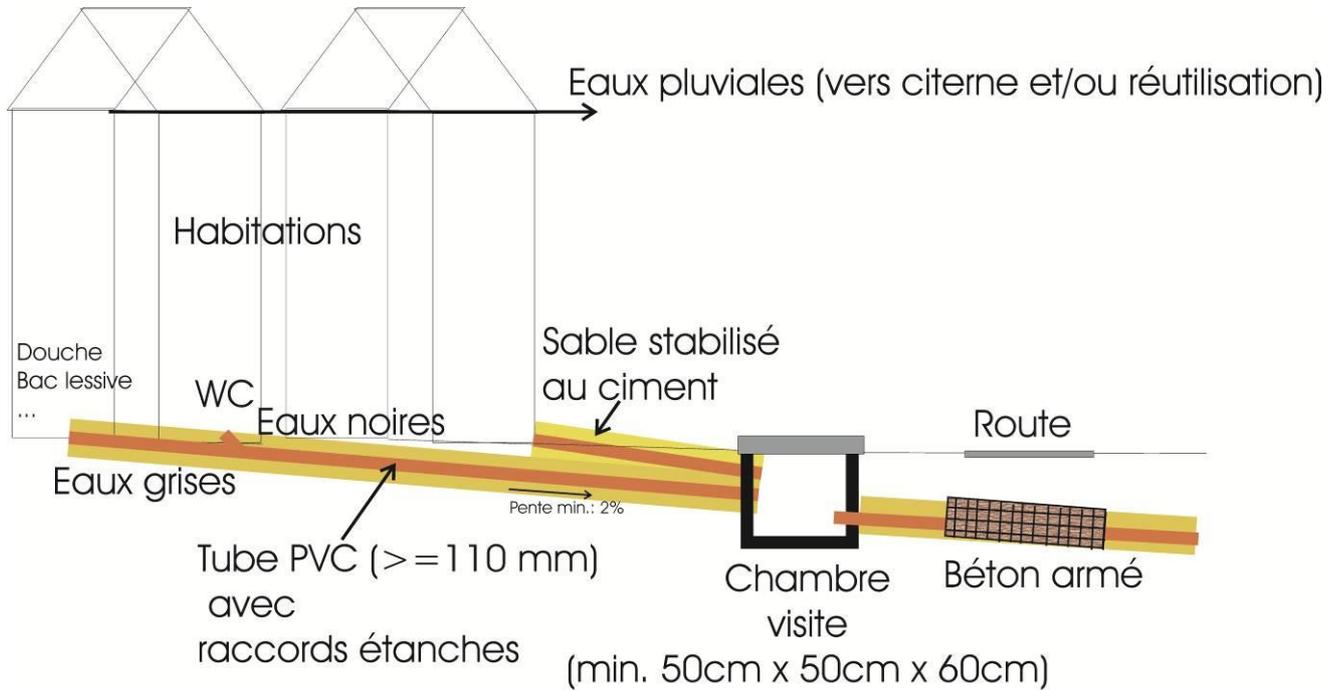


Image 1: Schéma global des conduites d'eaux usées

## 1.2. Pré-traitement : conception et placement

Le pré-traitement est nécessaire lorsque le filtre végétalisé est destiné à traiter partiellement ou uniquement des eaux noires. Donc, lorsqu'on traite uniquement des eaux grises ou effluents liquides très dilués, il n'est pas nécessaire de prévoir un pré-traitement.

Le pré-traitement est destiné à liquéfier les matières solides (feces, papier, déchets) et à pré-digérer les matières organiques. Env. 30 à 50 % de la matière organique peuvent être éliminés dans la cuve de pré-traitement, lorsqu'elle est bien dimensionnée.

### Cuve de pré-traitement 'Fosse septique'

La cuve aura un volume minimal de 3 m<sup>3</sup> par m<sup>3</sup> d'eaux usées (noires et grises) à traiter chaque jour.

Guide de dimensionnement, de construction et de fonctionnement d'un filtre végétalisé

Des cuves spécialement adaptées sont les fosses septiques (voir image 2) qui peuvent être commercialisées en matériaux plastiques ou en béton. Elles peuvent être construites sur site en veillant bien à leur robustesse et leur étanchéité : parois en béton armé de 20 cm et béton à 350 kg ciment par m<sup>3</sup>.

La fosse sera équipée en entrée d'un coude et en aval d'un té. Les gaz de fermentation seront piégés dans le sommet de la fosse. Ils seront préférablement évacués par un évent (tube de min. 40 mm de diamètre) conduisant ces gaz malodorants au sommet d'un bâtiment ou d'un arbre.

Les cuves peuvent être cylindriques ou cubiques.

Il faudra veiller à ce que la hauteur de la cuve soit égale à son diamètre ou côté.

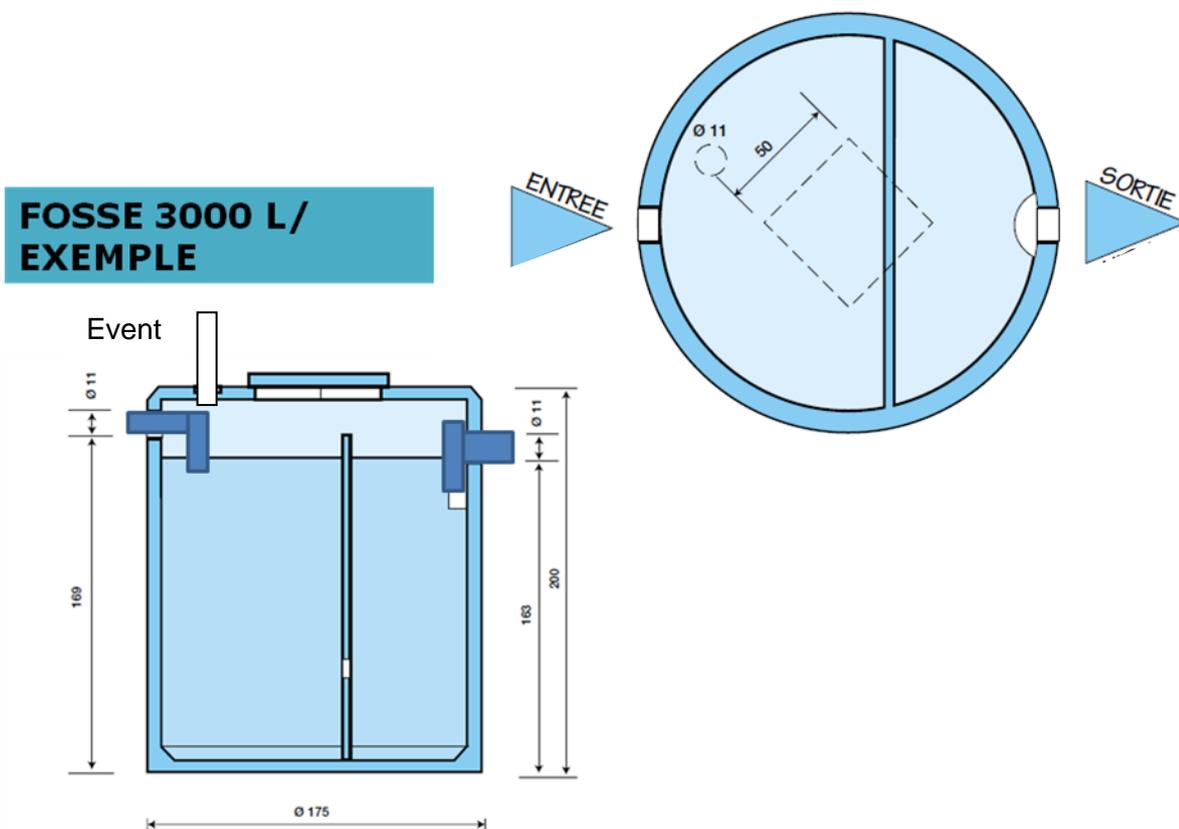


Image 2: Conception d'une fosse septique

La cuve de pré-traitement verra se déposer une boue épaisse et flotter une couche (chapeau) de matières grasses (et papier..). Il convient dès lors de vidanger la cuve au min. tous les 5 années.

Guide de dimensionnement, de construction et de fonctionnement d'un filtre végétalisé

### Cuve de pré-traitement 'Digesteur'

Tel un digesteur agricole, une cuve de pré-traitement des eaux usées peut être conçue pour digérer les matières organiques et collecter (ou évacuer) le gaz produit.

Le plan suivant (image 3) montre la conception d'une cuve de 4 m<sup>3</sup> installée à Dayet Ifrah selon le mode de construction des digesteurs (voir guide de construction).

Il faut prévoir au minimum un temps de séjour de 4 jours dans le digesteur (4 m<sup>3</sup> de volume par m<sup>3</sup> d'eaux à traiter quotidiennement).

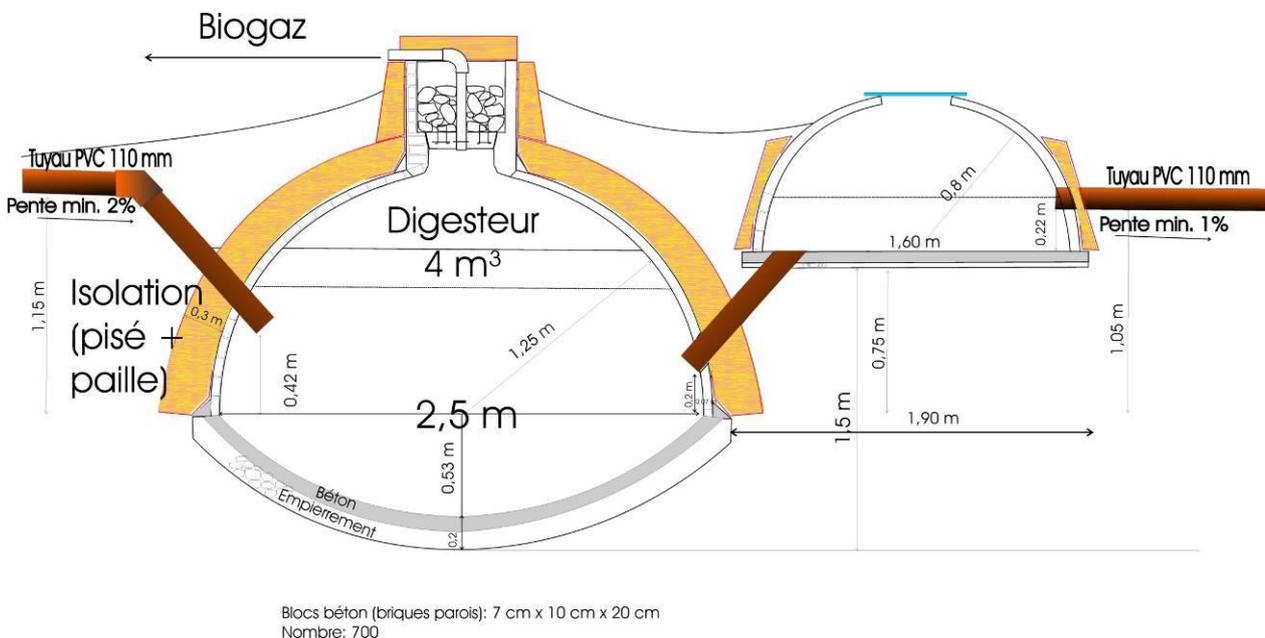


Image 3: Décanteur-digesteur

## 1.3. Le filtre végétalisé: conception

Le filtre végétalisé (ou planté) est constitué d'un ou plusieurs bassin(s) étanche(s) muni(s) d'une entrée d'eaux usées et d'une sortie d'eaux épurées. Chaque bassin est rempli partiellement de gravier et d'eaux usées dans lesquels des plantes aquatiques (héliophytes) seront plantées.

## Guide de dimensionnement, de construction et de fonctionnement d'un filtre végétalisé

Pour les dimensions du bassin, on veillera à respecter les conditions suivantes :

- Longueur maximale : 10 m pour eaux usées 'mixtes' (eaux noires + eaux grises mélangées ; voir Image 4 et Image 5) ou 1 à 10 m pour les eaux grises seules
- Largeur minimale : 2,5 m pour 1000 litres d'eaux usées 'mixtes' ; 1 m pour 1000 litres d'eaux usées grises
- La longueur sera calculée pour que la surface totale du filtre soit au minimum de 3 m<sup>2</sup> par équivalent-habitant OU que le temps de séjour des eaux dans le bassin soit de min. 4 jours\*.

\* : le temps de séjour est calculé par le volume occupé par les eaux dans le bassin (dans l'espace 'porosité') divisé par le volume d'eaux alimenté chaque jour

La longueur sera toujours au moins égale à la largeur.

Dès que le débit dépasse 4 m<sup>3</sup> eaux usées 'mixtes' par jour, il faut prévoir plus d'un bassin (x fois 10 m largeur et 10 m long). Pour répartir les eaux entre les bassins, il faut prévoir des tés ou des chambres de répartition pour répartir les débits de façons égales.

Le fond du bassin est constitué d'une dalle horizontale en béton ou en sable stabilisé (150 kg ciment/m<sup>3</sup>) sur 10 à 15 cm d'épaisseur selon la stabilité du sol. La dalle sera située à 55 cm sous le niveau bas du tuyau d'alimentation.

Les parois en béton, en blocs, en briques ou en pierres auront une hauteur de 80 cm. Elles seront de min. 15 cm d'épaisseur et stabilisées à l'extérieur par des remblais compactés. Si des remblais ne peuvent être ajoutés autour du bassin (si celui-ci est hors sol), il faudra renforcer les parois (et surtout les angles) par des fers à béton de 8 mm et ce, à chaque niveau de blocs ou de briques.

Les parois et le fond seront rendus étanches à l'intérieur:

- Soit par des enduits (mortier à 350 kg -ciment/m<sup>3</sup> + hydrofuge pour ciment) en 3 couches de 7 mm d'épaisseur,
- Soit grâce à une couche d'enduit et une géomembrane PEHD ou EPDM 1 mm

Le bassin sera rempli de graviers ronds (ou concassés, mais sans angles aigus !) propres et lavés de 5 à 10 mm de diamètre et sur une hauteur de 60 cm.

Des côtés entrée et sortie et sur min. 50 cm de longueur, des gros graviers (tailles mélangées de 2 à 10 cm diamètre, sans angles aigus) permettront une bonne répartition des eaux.

Les tubes d'alimentation et de sortie des eaux seront équipés de tés et de tubes horizontaux percés (trous de 2 cm tous les 10 cm) pour répartir les eaux sur toute la largeur du bassin.

Le niveau bas du tube d'alimentation est situé à 50 cm au-dessus de la dalle du fond ; le tuyau de sortie sera quant à lui situé à 10 cm du fond.

Guide de dimensionnement, de construction et de fonctionnement d'un filtre végétalisé

La porosité des graviers sera de 20 à 40 % (plus les graviers sont gros et ronds, plus la porosité est élevée).

Il faut éviter, dans la mesure du possible des graviers calcaires (qui peuvent être attaqués par des eaux usées).

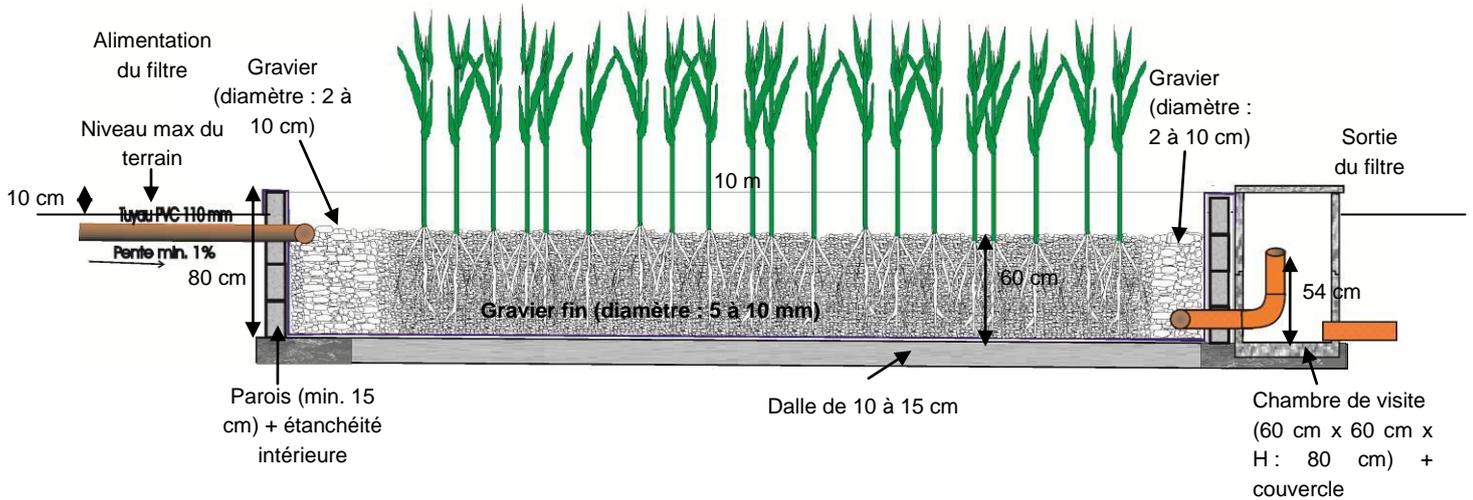


Image 4: Coupe en long d'un filtre végétalisé pour eaux usées noires et grises

Guide de dimensionnement, de construction et de fonctionnement d'un filtre végétalisé

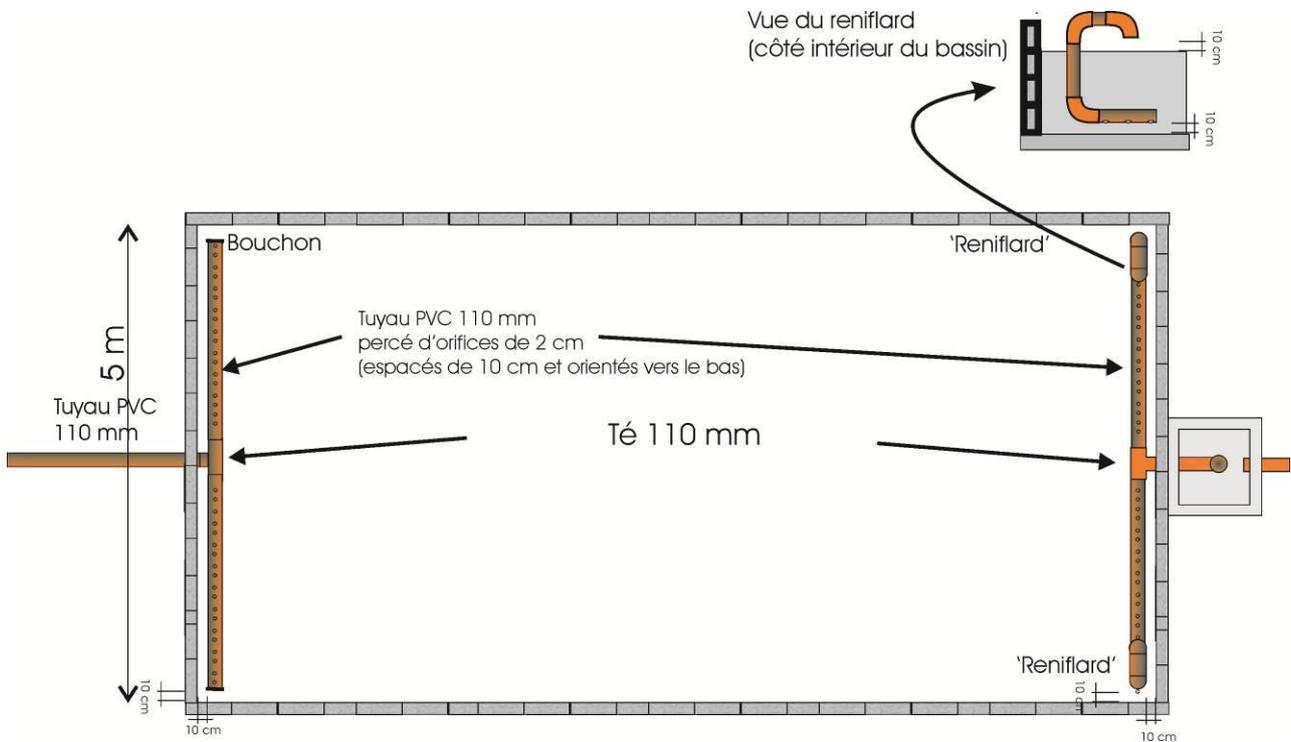


Image 5: Vue aérienne d'un filtre végétalisé pour eaux usées noires et grises (exemple adapté à l'épuration des eaux de la mosquée et de l'école de Dayet Ifrah)

Pour le traitement des eaux grises seules, par exemple, de la mosquée et de l'école de Dayet Ifrah, il faut prévoir 10 m<sup>2</sup> de filtre végétalisé pour les 500 litres d'eaux / jour (voir Image 6).

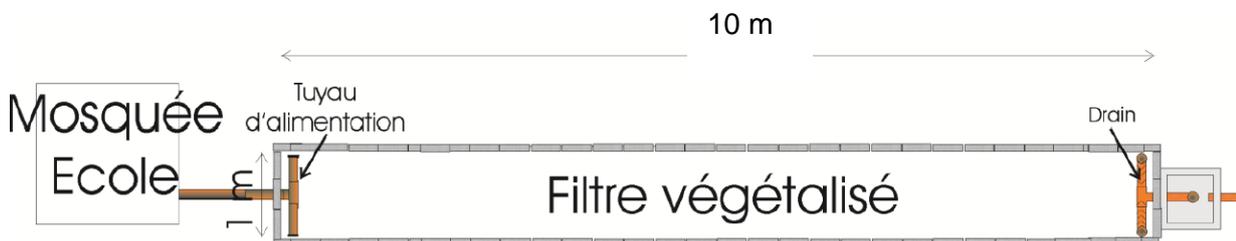


Image 6: Vue aérienne d'un filtre végétalisé pour eaux usées grises

Guide de dimensionnement, de construction et de fonctionnement d'un filtre végétalisé

Lorsque les filtres végétalisés sont sous eau (min. 54 cm de hauteur d'eau), les plantations peuvent être effectuées. Les roseaux (Phragmites et Typha) sont les plantes les plus connues et efficaces en Europe. Au Maroc, les Arundo Donax ou toute autre plante héliophyte peuvent être intéressantes. Les Arundo donnent des tiges ligneuses intéressantes pour l'artisanat (canisses..). D'autres plantes (à veiller non toxiques) à faucher peuvent être valorisées en compost ou en aliment pour bétail.

Les eaux épurées seront en priorité utilisées pour l'irrigation de cultures maraîchères.

## 1.4. Le filtre végétalisé: Construction

Les différentes étapes de la construction décrites et illustrées ci-dessous sont relatives au filtre végétalisé implanté à Dayet Ifrah en juin-juillet 2010 pour traiter les eaux usées de la mosquée et de l'école, soit environ 1 m<sup>3</sup> par jour (très certainement sous-estimé).

Le dimensionnement a été effectué lors d'une mission de M. Wauthelet et un digesteur (pré-traitement) de 4 m<sup>3</sup> et un filtre végétalisé de 50 m<sup>2</sup> ont été choisis.

La filière complète est illustrée en Image 7

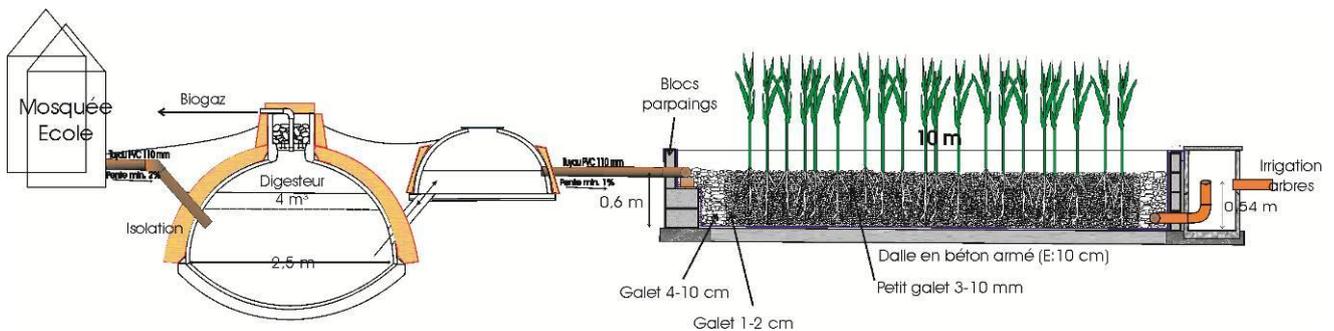


Image 7: Filière de traitement des eaux usées de l'école et de la mosquée de Dayet Ifrah

Le terrassement est schématisé en Image 8. Le filtre peut être construit hors sol ou enterré de 70 cm.

# 1. Terrassements

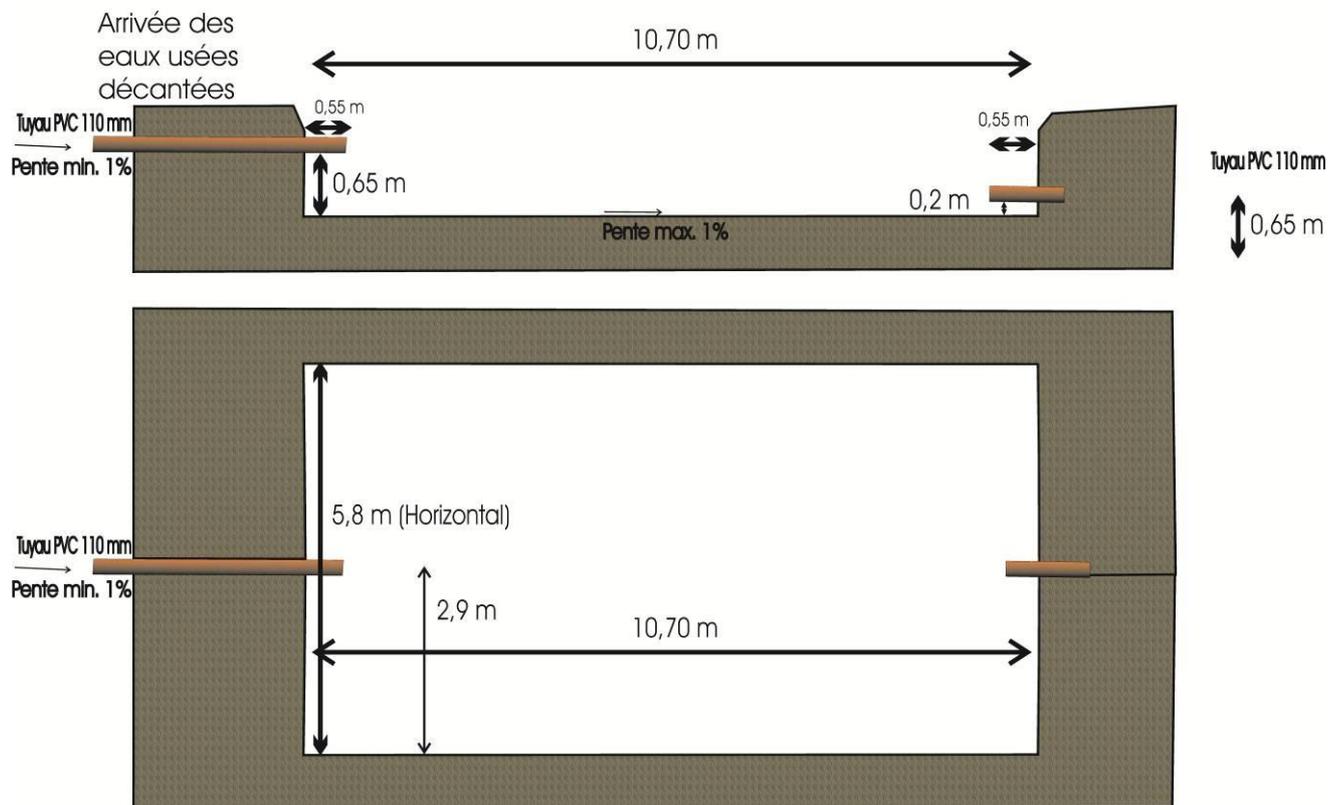


Image 8: Terrassement pour un filtre végétalisé

Le fond est couvert d'une dalle en béton armé de min. 10 cm d'épaisseur (Image 9). Si le sol est peu stable (argile, sable..), il sera au préalable couvert d'une couche de pierres concassées.

## 2. Dalles de fond

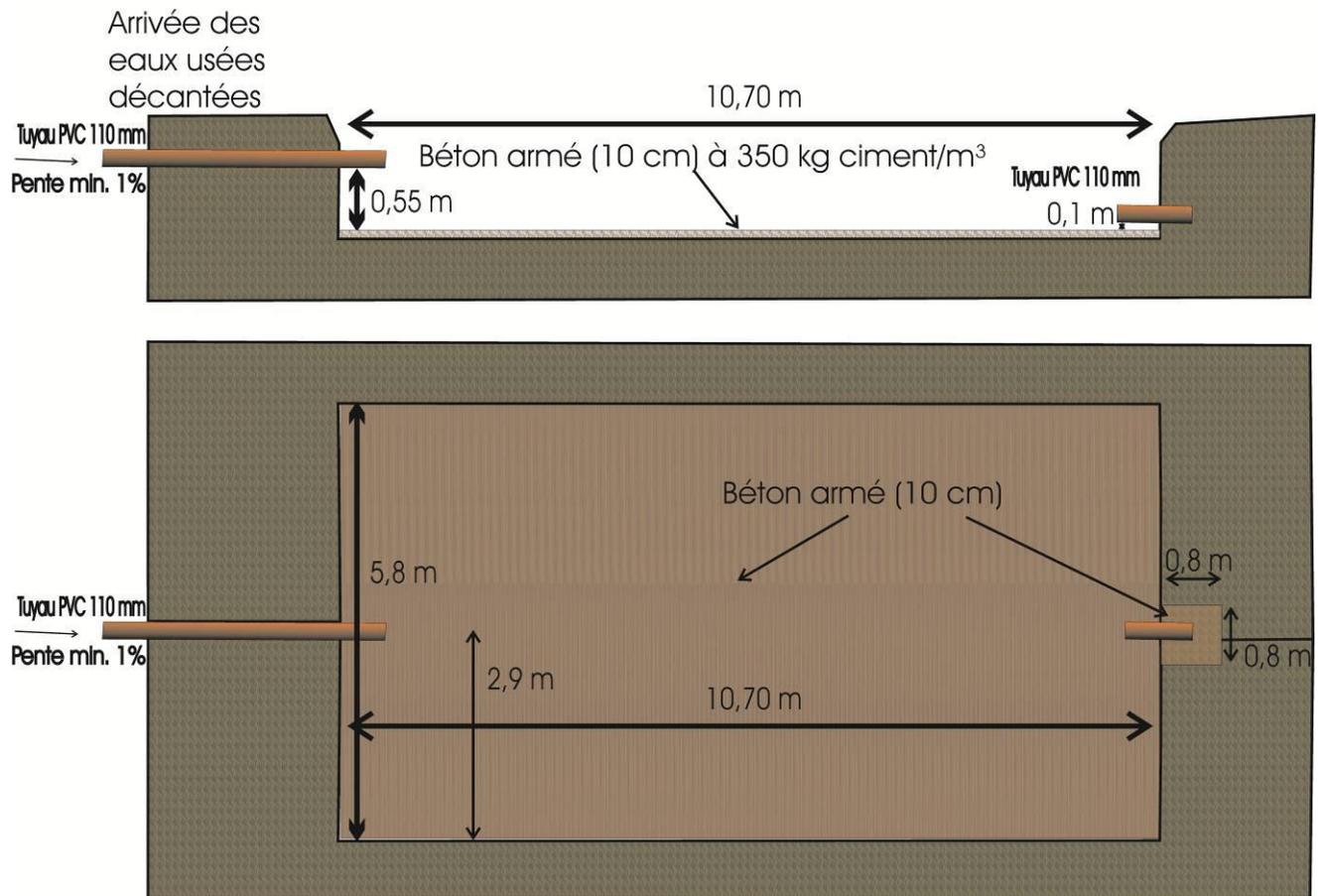


Image 9: Dalle de fond du filtre végétalisé

Les parois sont ensuite montées à l'aide de blocs en béton remplis de mortier au fur et à mesure du montage (Image 10). Du côté intérieur et sur le sommet du muret, un enduit d'étanchéité sera posé et des remblais seront tassés derrière les murs.

### 3. Parois du filtre

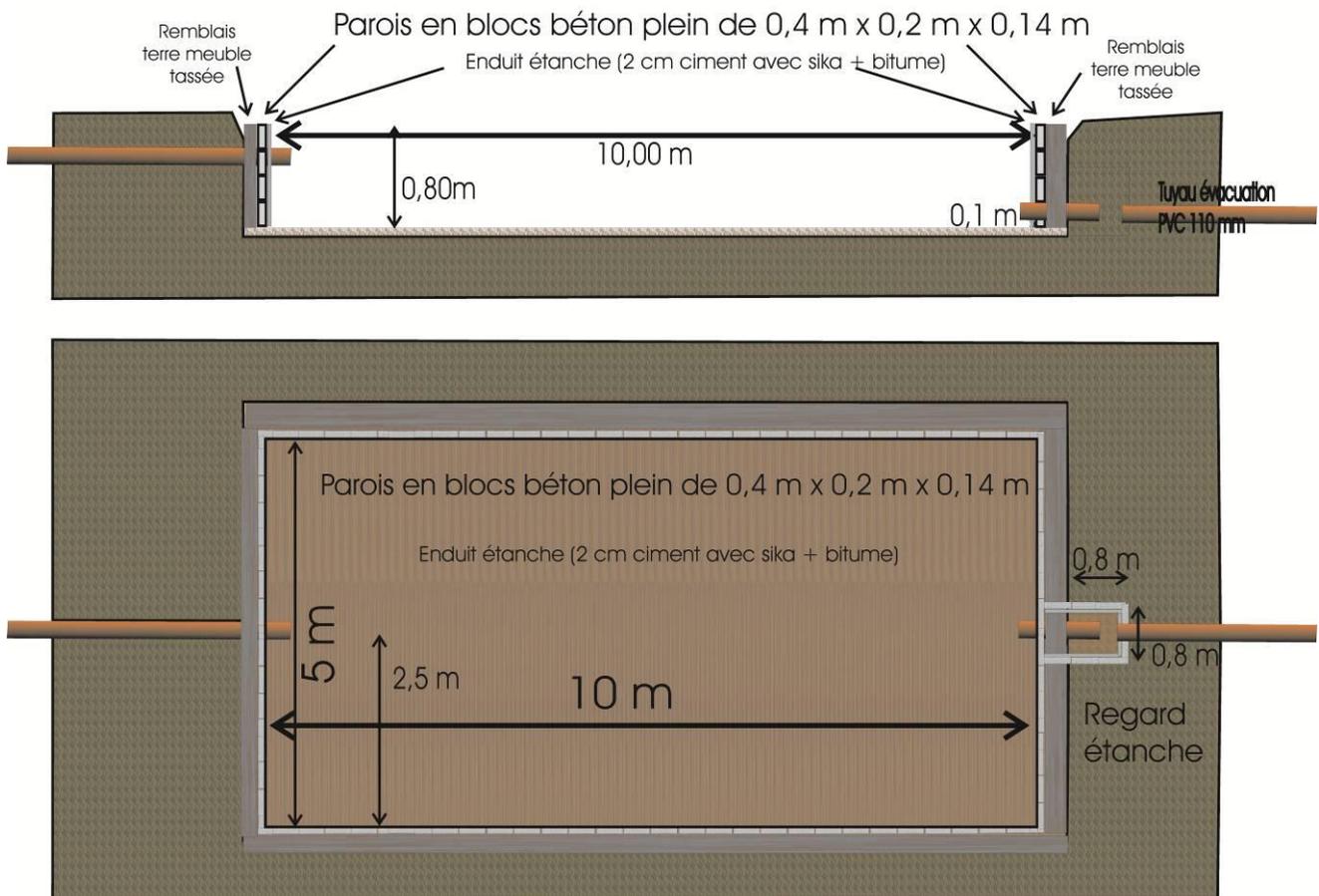


Image 10: Montage des murs du filtre végétalisé

Les tuyaux d'entrée et de sortie sont intégrés dans les parois amont et aval du filtre. Ils seront équipés de tés et tuyaux percés pour distribuer (entrée) et collecter (sortie) les eaux usées. Tous les tuyaux ont un diamètre de 110 mm. A la sortie une chambre est prévue pour y placer un coude et un tuyau de 110 mm jusqu'à une hauteur de 54 cm. Voir Image 11.

## 4. Tuyauterie

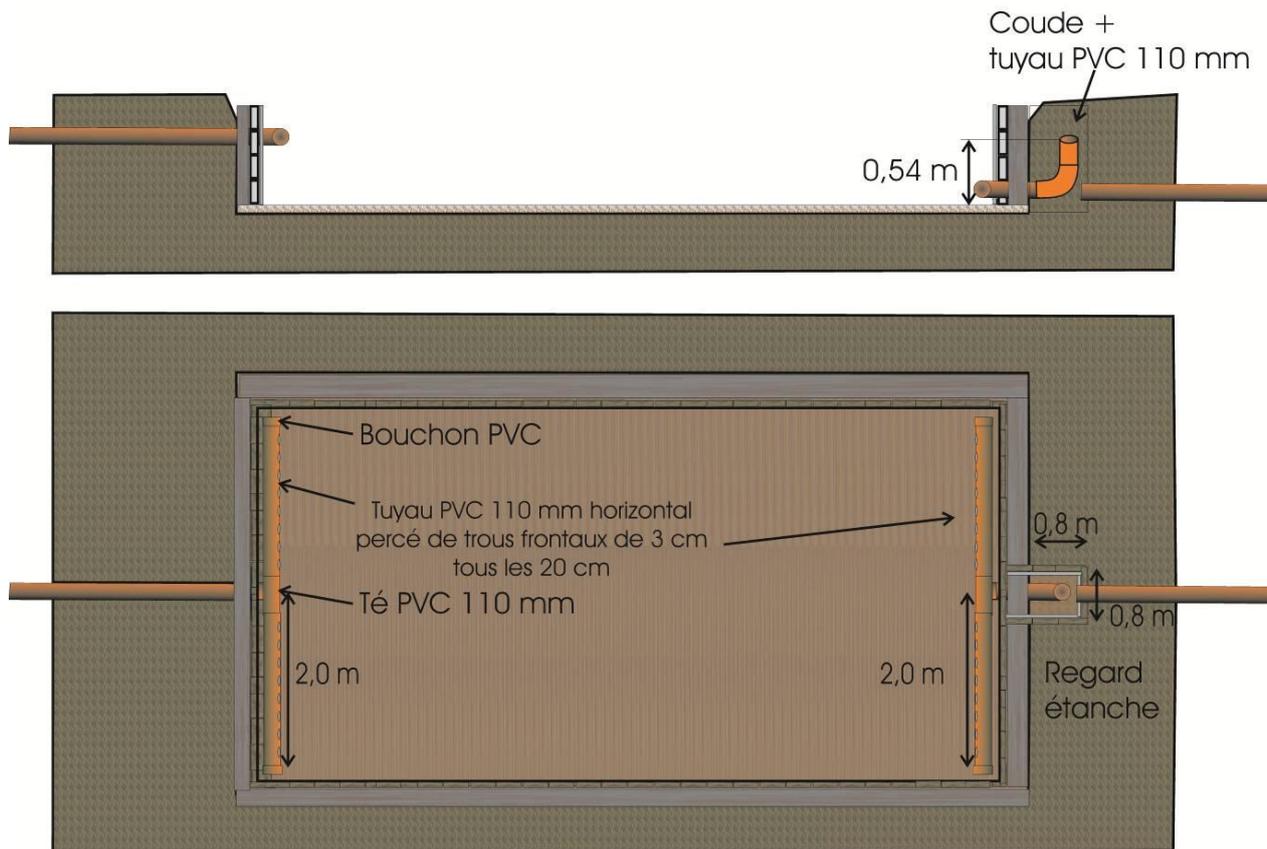


Image 11: Montage des tuyauteries du filtre végétalisé

Les graviers peuvent ensuite être posés. Il faudra veiller que les tuyaux de distribution et de collecte des eaux ne soient pas abîmés et bien posés à l'horizontale. Après remplissage à l'eau, les plantations peuvent être effectuées.

## 5. Gravier, raccordement et plantation

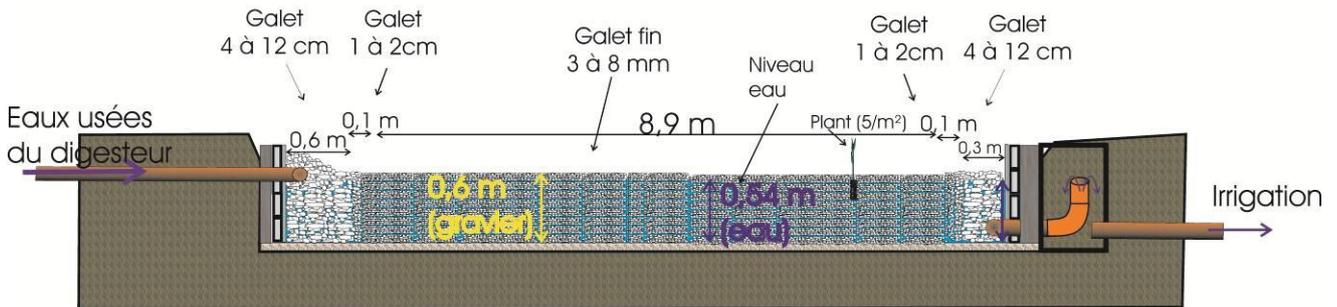


Image 12: Remplissage du filtre végétalisé

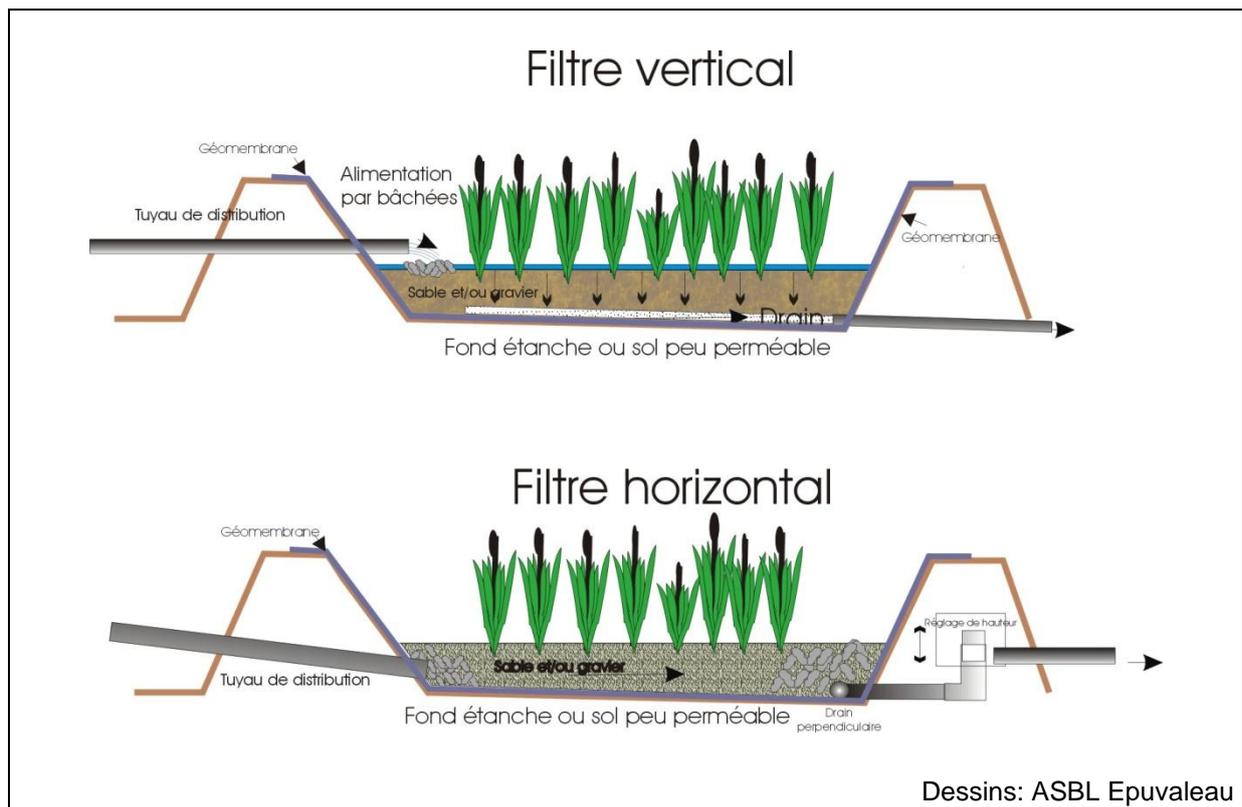
## 2. Fonctionnement d'un filtre végétalisé.

### 2.1. Principe général de fonctionnement.

Selon

- Schmagar C., Heine A. (2001). *The dimension, operation and efficiency of constructed wetlands –Thirty years of experiences in Germany*, in *European Water Management*, vol.4, n°5, Oct. 2001 pp.50-63
- Kadlec H., Knight R.L., (1996). *Treatment Wetlands'* Robert, Lewis Publishers ISBN 0-87371-930-1, 893 pages
- Tchobanoglous, Crites,(1998) *Small and Decentralized Wastewater Management Systems*, 1084 pages,
- Vymazal J., Kröpfelová L., (2008) *Wastewater Treatment in Constructed Wetlands with Horizontal Sub-Surface Flow*, 579 pages
- Kadlec H., Wallace Scott D., *TREATMENT WETLANDS, SECOND EDITION (2009)*, 1048 pages

Les filtres végétalisés (à écoulement souterrain) peuvent être schématiquement divisés comme suit :



Bien que les filtres verticaux (filtres sur lesquels les eaux usées sont épandues et percolent de haut en bas avant d'être drainées) aient des performances épuratoires plus élevées (sauf en ce qui concerne les nitrates !) que les filtres horizontaux, ils peuvent difficilement être raccordés à des maisons individuelles et ce pour plusieurs raisons :

- les nuisances olfactives et visuelles sont beaucoup plus importantes à la surface des filtres verticaux,
- les insectes et animaux prolifèrent dans les eaux de surface et les risques sanitaires (contacts des plantes, des personnes et animaux avec les eaux superficielles) sont plus élevés,
- l'entretien des filtres verticaux est plus difficile (boues en surface) et plus fréquent.
- les eaux ne peuvent pas être amenées par bâchées, sauf si un siphon auto-amorçant ou un stockage et un pompage sont prévus en amont,
- les filtres verticaux doivent être 'aérés' lors de périodes de repos durant lesquelles ils ne reçoivent pas d'eaux usées et sont asséchés (ceci est réellement rendu possible si plusieurs filtres sont alimentés en alternance),

Guide de dimensionnement, de construction et de fonctionnement d'un filtre végétalisé

- Le gel occasionne des colmatages de tuyauterie située en surface,
- Le colmatage des tuyaux par les racines des roseaux est un risque à prendre en considération,
- Il faut une dénivelée de plus de 1 mètre

Le *filtre végétalisé* est un filtre horizontal.

Il utilise un lit de sable ou de gravier comme substrat de croissance des plantes enracinées. Les eaux prétraitées s'écoulent par gravité, horizontalement à travers le lit de substrats où les microorganismes se développent en association avec le substrat et les racines des plantes. Dans ce système 'souterrain', la profondeur est de max. 0,6 m et le fond du lit est incliné pour minimiser les débordements des eaux. Les plantes adaptées à ce type de bassin sont le roseau commun (*Phragmites communis*, *Phr. australis*), le *Typha*, le jonc des marais (*Scirpus* spp.). L'oxygène nécessaire aux plantes et à certains micro-organismes entre par diffusion atmosphérique directe et par les plantes elles-mêmes. Des consortiums de micro-organismes anaérobies (principalement en profondeur) et aérobies se développent simultanément dans le substrat et ce, dans la plupart des cas et sous les charges habituelles en eaux usées. Ils assurent l'épuration des eaux usées. Le filtre végétalisé peut supporter des charges surfaciques journalières de 2 à 20 cm<sup>3</sup>/j. Il assure aussi la rétention des solides, de métaux lourds et de germes pathogènes. C'est un procédé d'épuration à culture fixée sur support fin qui constitue un réacteur biologique à grande surface spécifique pour l'oxydation et la réduction des molécules constitutives de la pollution. Les roseaux permettent d'éviter le colmatage (tiges émises par rhizomes), d'améliorer les conditions pour la minéralisation de la matière organique et de prélever (en faibles quantités) des nutriments et polluants. (*Min. Aménagement du Territoire et de l'Environnement (2001). Guide la Commission Européenne : Procédés extensifs des eaux usées adaptés aux petites et moyennes collectivités, France*).

Les organes souterrains des plantes telles que *Phragmites* sont spécialement adaptés au milieu saturé en eau. Il se forme des conduits aérifères dans le parenchyme cortical appelés aerenchyme racinaire. Ceci permet à l'oxygène d'atteindre les tissus racinaires et de se diffuser dans le sol rhizosphérique ('gaine oxique'). C'est une rhizosphère à l'envers : la concentration maximale d'air se situe près des racines. Ces teneurs sont suffisantes pour les organismes microaérophiles, comme le sont par exemple de nombreuses bactéries fixatrices d'azote. Les sulfates sont réduits en hydrogène sulfuré volatil, les nitrates sont réduits en azote élémentaire par des organismes dénitrifiants facultativement aérobies.

La fixation d'azote est très importante dans la rhizosphère: l'énergie nécessaire est fournie par la sécrétion racinaire, la concentration en oxygène est faible et la dénitrification engendre une perte d'azote combiné. En conséquence, il y a une réduction de la fixation d'azote microaérophile. Les roselières présentent ainsi une production végétale très élevée.

Il faut noter que les roseaux (*Phragmites*) sont largement employés dans les techniques de phytoremédiation, c'est-à-dire dans l'utilisation *in situ* de plantes vertes vivantes pour le traitement de sols contaminés, de boues, de sédiments, d'eau souterraine et de déchets pollués. La phytoremédiation est basée sur l'accumulation, l'élimination et la dégradation des contaminants par les plantes (et les organismes associés). Elle est employée pour traiter les métaux, les pesticides, les solvants, les explosifs, le pétrole, les hydrocarbures polycycliques et des lixiviats de décharges. L'élimination des contaminants se produit grâce à la phytodégradation (ou phytotransformation), à la rhizodégradation (ou biodégradation accélérée rhizosphérique ou dégradation/bioremediation assistée par les plantes) et à la phytovolatilisation. La phytoremédiation est employée depuis une vingtaine d'années pour le traitement des sols contaminés par des métaux lourds et des composés organiques, mais elle est utilisée depuis plus de 300 ans pour le traitement des eaux usées (Treatment Wetlands).

Les *filtres végétalisés* présentés ici peuvent être classés dans les 'Treatment Wetlands' (appelés aussi 'Wastewater Wetland' ou 'Constructed Wetland'). Ils sont efficaces en réduisant la Demande Biochimique en Oxygène, les teneurs en solides en suspension, en azote, en phosphore et en métaux lourds, en matières organiques et en germes pathogènes. Les performances dépendent du prétraitement, des constituants et des taux de charges hydrauliques. Les suivis adéquats, les connaissances détaillées des performances du système et les stratégies employées peuvent également optimiser le fonctionnement du filtre (cfr guide d'exploitation).

Les filtres traitent efficacement les eaux usées avant leur rejet en rivières ou leur infiltration dans le sol.

Ils servent également de tampons efficaces car ils permettent de répartir dans le temps les écoulements 'de pointe' et diminuent les débits (par évapo-transpiration).

La difficulté principale des Wetlands est de maintenir des conditions d'aération suffisantes. Si le système est surchargé de constituants consommateurs d'oxygène ou s'il fonctionne avec des profondeurs d'eau trop importantes, des conditions réductrices se développent dans les sédiments, résultant dans un stress important pour les plantes et des efficacités d'élimination (de la DBO<sub>5</sub> et de l'azote ammoniacal) amoindries. Dans les systèmes 'souterrains' (filtres horizontaux, *filtres végétalisés*), un problème souvent rencontré est un gradient de charge hydraulique inadéquat qui occasionne des écoulements de surface.

Les coûts des Wetlands construits s'élèvent aux USA de 10.000 \$ à 100.000 \$ /ha; ces coûts résultant principalement des coûts d'excavation du sol. Les coûts des systèmes à flux 'souterrain' sont plus élevés par unité de surface, soit de 100.000 à 200.000 \$/ha. Les coûts d'opération et de maintenance sont généralement bas pour tous ces systèmes et sont compris entre 0,03 à 0,09 \$/m<sup>3</sup> (USA).

En Europe, plusieurs dizaines de milliers de 'Wetlands' ont été installés en Allemagne, au Danemark, en Suisse, en Angleterre, en France, en Belgique (350 installations)...La taille varie de 1 à plus de 10000 Equivalent-Habitants.

En Belgique, le coût varie de 600 Euros (en 'auto-construction') à plus de 1000 Euros par Equivalent-Habitant (par entreprise).

Des 'Wetlands' sont implantés également dans des pays asiatiques (Chine, Inde,...), en Amérique et en Afrique.

Plusieurs dizaines de systèmes Filtres végétalisés Epuval (pour 5 à 1200 EH) ont déjà été construits en Wallonie et à l'étranger. Les Tableaux 1 et 2, ci-dessous montrent les performances moyennes (été + hiver). Les eaux épurées répondent aux normes et de plus permettent de réduire l'azote, le phosphore et les germes pathogènes.

#### **A Nassogne. Epuval 20G. Fortement chargé (restaurant, gîtes, habitation).**

**Tableau 1 : Mesures effectuées sur le filtre végétalisé de Nassogne (18 mesures)**

Paramètres	Entrée du filtre moy. (min-max)	Sortie du filtre moy. (min-max)
DBO <sub>5</sub> (mg/l)	160 (11-1500)	19 (1-54)
DCO (mg/l)	217 (27-865)	21 (1-75)
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	7 (0-11)	6 (1-10)
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)	35 (3-103)	14 (3-32)
OrthoP (mg/l)	21 (0,4-81)	0,21 (0,03-0,7)
P total (mg/l)	19,45 (1,3-83)	0,12 (0,00-4,9)

#### **A Sainte-Ode. Epuval 40G. Irrégulièrement chargé (gîtes, salle de réunion).**

**Tableau 2 : Mesures effectuées sur le filtre végétalisé de Sainte-Ode (6 mesures)**

Paramètres	Entrée du filtre moy. (min-max)	Sortie du filtre moy. (min-max)
DBO <sub>5</sub> (mg/l)	94,8 (50-150)	11,3 (3-24)
DCO (mg/l)	167,7 (60-300)	27,5 (13-30)
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	5,11 (2-10)	1,34 (0,8-20)
OrthoP (mg/l)	38,8 (8-57)	0,67 (0,5-2)
P total (mg/l)	26,1 (16-39)	8,03 (0,7-22)

Coliformes fécaux : non détectés à la sortie

Abattement en entérocoques : > 99,99%

Les filtres végétalisés dans le monde :

*Bien que la méthode d'épuration par les 'marais naturels ou artificiels' soit connue et utilisée depuis très longtemps, le développement réel de la technique des 'filtres plantés' date des années 1970-80 en Europe et un peu plus tard aux Etats-Unis.*

***Des filtres plantés connaissent, depuis les années 1990, de plus en plus de succès à travers le monde. La majorité des systèmes installés sont des filtres horizontaux : Les pays les plus connus sont l'Allemagne (plus de 50.000 installations), les Etats-Unis (plus de 8000 avec un débit moyen par installation de 1250 m<sup>3</sup>/j et 3400 m<sup>2</sup>), l'Italie (plus de 1000) le Danemark (plus de 100), , la Suisse (> 100, jusque 10 000 EH), le Royaume-Uni (> 1000), l'Australie (>100), la Nouvelle Zélande (>100), le Portugal (>300) et la Belgique (plus de 350).***

*On en trouve également en Autriche, Croatie, Tchéquie (> 100), Estonie, France, Grèce, Irlande (> 140), Lituanie (> 20), Hollande, Norvège, Pologne (> 100), , Slovaquie, Slovénie, Espagne, Suède, Canada, Mexique, Brésil, Chili, Colombie, Costa Rica, Équateur, Salvador, Honduras, Jamaïque, Nicaragua, Uruguay, Fidji, Egypte, Kenya, Maroc, Afrique du Sud (>30), Tanzanie, Tunisie, Ouganda, Chine, Inde, Israël, Japon, Jordanie, Corée, Népal, Oman, Taïwan, Thaïlande, Turquie.*

## 2.2. Principes de dimensionnement des filtres végétalisés.

Les filtres végétalisés seront de préférence plantés de *Phragmites australis*.

Selon:

- Schmager C., Heine A. (2001). *The dimension, operation and efficiency of constructed wetlands –Thirty years of experiences in Germany, in European Water Management, vol.4, n°5, Oct. 2001 pp.50-63*
- Kadlec H., Wallace Scott D., *TREATMENT WETLANDS, SECOND EDITION (2009), 1048 pages*
- *Norme Européenne CEN/TR 12566-5 Petites installations de traitement des eaux usées jusqu'à 50 EH -*

Ces filtres peuvent être constitués d'un support composé de sable et de gravier. En Allemagne, de nombreux filtres ont été analysés quant à leurs performances d'épuration (réduction de la DCO, de la DBO<sub>5</sub>, des nitrates, phosphates et potassium).

Cependant et comme nous le verrons dans les calculs de dimensionnement, il faut tenir compte des différents facteurs tels que débits, pentes, type, qualité et prix des sables et graviers disponibles

Guide de dimensionnement, de construction et de fonctionnement d'un filtre végétalisé

localement, porosité,... L'objectif principal est d'éviter à moyen terme les colmatages des filtres tout en assurant des rendements épuratoires élevés.

Pour éviter les colmatages, les institutions européennes prônent l'utilisation de graviers fins dans les filtres horizontaux.

La capacité des *filtres végétalisés* existants peut varier de 1 à 5.000 EH. Il n'est pas exclu de mettre en place des filtres plus importants si les superficies nécessaires sont disponibles et peu coûteuses. Il est nécessaire de prévoir des surfaces relativement importantes (de l'ordre de 5 m<sup>2</sup> par EH). La profondeur des filtres ne doit pas excéder 50 à 70 cm, ceci correspondant à la profondeur atteinte par les racines des Phragmites.

Pour obtenir des performances élevées, la charge maximale de ces filtres ne devrait pas dépasser 40 mm/jour

La charge maximale ne doit pas dépasser 16 g DCO/m<sup>2</sup>.j ou 8 g DBO<sub>5</sub>/m<sup>2</sup>.j. et DCO/DBO<sub>5</sub> = 2,5

Les filtres végétalisés sont constitués de cellules, dont le nombre dépendra des débits des eaux usées, de la maintenance et de la topographie. Deux cellules en parallèle est un minimum recommandé pour pouvoir assurer la maintenance. Elles seront étanches (fond et parois couverts d'une géomembrane), remplies de gravier et/ou de sable. Les chemins préférentiels dans les cellules seront évités en répartissant uniformément le matériau de remplissage.

La végétation doit être régulière, des digues séparent et divisent les cellules longitudinalement, la surface des filtres doit être bien plane et il faut éviter les zones mortes. Autour des filtres, un chemin d'accès de minimum 50 cm de largeur prévu pour assurer le contrôle et la maintenance des cellules. Un chemin d'accès de 3 m sera également prévu pour permettre l'accès du véhicule de vidange de la fosse septique et des canaux d'amenée des différentes cellules. Afin d'éviter tout dommage aux installations le véhicule d'entretien n'approchera pas à moins de 3 mètres de celles-ci.

Les investissements nécessaires sont l'acquisition du terrain, les pompes éventuelles, la préparation du terrain, les apports de sable et de gravier, les bâches d'étanchéité, les tuyauteries, les bassins et les plantes.

Les coûts de fonctionnement et de maintenance sont les frais de pompage, le monitoring, la maintenance des chemins et des digues, la réduction des nuisances éventuelles (moustiques, rats,...), l'entretien des plantations (récolte, coupes) et les réparations du petit matériel. Etant donné qu'il n'y a pas d'écoulements en surface, il n'y pas de dépôts de boues à enlever à la surface des filtres.

Le *filtre végétalisé* est considéré comme un filtre horizontal. Les performances attendues sont élevées (selon les mesures effectuées sur plusieurs dizaines d'installations (filtres horizontaux) en Allemagne (*Schmager C., 2001*) :

**Tableau 3 : Abattements de différents paramètres en filtre végétalisé**

<b>Paramètres</b>	<b>Abattement moyen mesuré (%)</b>	<b>Abattement maximal mesuré (%)</b>
DCO	79	98
DBO <sub>5</sub>	88	99
NH <sub>4</sub> -N	54	99
N <sub>tot</sub>	52	97
P <sub>tot</sub>	68	99

Les abattements en azote total (dénitrification) sont plus élevés que ceux des filtres verticaux : 60% des filtres horizontaux garantissent des effluents avec des concentrations inférieures à 30 mg Ntot./l.

Selon les mêmes auteurs, 84% des filtres horizontaux permettent d'obtenir des effluents contenant moins de 40 mg DBO<sub>5</sub>/l. soixante pourcents d'entre eux garantissent moins de 2 mg Ptot./l et quarante cinq pourcents produisent des effluents à moins de 20 mg NH<sub>4</sub>/l.

En moyenne sur 64 filtres horizontaux analysés en Allemagne, les effluents contiennent 79,6 mg DCO/l et 28,9 mg DBO<sub>5</sub>/l.

Ces résultats sont garantis sur toute l'année, même en période hivernale.

Au Danemark, sur 71 systèmes de filtres à écoulement horizontal placés après un traitement primaire rudimentaire (Kadlec, 1996), les résultats (avec un taux de charge moyen de 5 cm/j) sont excellents. Les effluents contiennent 18 mg DBO<sub>5</sub>/l et 27 mg MES/l.

Au Québec (Ministère de l'Environnement (2001). *Guide pour l'étude des technologies conventionnelles de traitement des eaux usées d'origine domestique, Québec*), le projet de démonstration de la Biosphère de Montréal montre qu'après une fosse septique et un filtre horizontal (charge : 2,4 cm/j), les eaux sont bien épurées et contiennent 20 mg DBO<sub>5</sub>/l et 13 mg MES/l. Les concentrations en coliformes fécaux passent de 10 millions (sortie fosse septique) à 1500 Unités/100 ml (sortie filtre). Selon d'autres sources citées dans le guide (Ministère de l'Environnement, 2001), les concentrations en coliformes des effluents des filtres sont de l'ordre de 10<sup>3</sup> à 10<sup>4</sup> par 100 ml. Le filtre Epuval de Sainte-Ode a montré que, dans les eaux épurées, les coliformes fécaux ne sont plus détectables et l'abattement en entérocoques dépasse 99,99%.

## 2.3. Entretien des filtres végétalisés.

### Pré-traitement

Il faut veiller à ce que la fosse ou le digesteur ne soit pas obstrué par des déchets ou des couches flottantes et dépôts. Si des problèmes d'écoulement sont observés, une vidange sera effectuée. En Europe, là où on utilise du papier WC et où on déverse des graisses dans les eaux grises (vaisselle), on doit en principe vider la fosse septique tous les 5 ans.

Il faut veiller que l'évent ou le tuyau de gaz sortant de la fosse ou du digesteur ne soit pas obstrué et que les gaz (malodorants et inflammables) soient bien évacués loin des habitants.

Il faut vérifier tous les 6 mois que l'évent n'est pas obstrué par des feuilles, nids d'oiseaux, ... qui devront être dans ce cas dégagés.

### Quantités de réactifs

Il est déconseillé d'ajouter des réactifs dans les eaux usées, car cela peut perturber fortement le fonctionnement du système. Il faut éviter au maximum l'emploi de produits tels que eau de javel, déboucheurs, ... Ponctuellement (une à deux fois par mois), une faible quantité de ces produits (un capuchon) est admise s'il est nécessaire de les employer. Il est interdit de déverser des huiles minérales, des eaux de dilution d'herbicides ou de pesticides dans les canalisations des eaux usées.

L'utilisation de réactifs pourrait entraîner des problèmes de corrosion des matériaux constituant la fosse et le filtre ou perturber gravement les micro-organismes ou les plantes présents dans la fosse et le filtre.

### Renseignements techniques

La partie centrale du filtre (graviers les plus fins) est végétalisée par des *Phragmites australis* ou tout autre plante ayant fait l'objet d'une convention particulière avec le maître d'ouvrage et ayant démontré un pouvoir épurateur au moins égal aux *Phragmites*. Dès le départ, 5 plants seront prévus par m<sup>2</sup>. Il faut veiller à conserver cette densité tout au long de l'existence du filtre. Il est rarement nécessaire d'ajouter des plants. Une fauche annuelle au printemps ou en automne des *Phragmites* est conseillée mais n'est pas obligatoire. Les *Phragmites* fauchés peuvent être laissés sur le filtre pour constituer un paillis au-dessus des graviers ou ils seront utilisés comme 'bois d'allumage' ou paillis pour les fleurs ou arbustes.

### Mise en activité

Le filtre végétalisé peut être utilisé dès l'acceptation définitive des travaux. Toutefois, il n'atteindra sa pleine efficacité qu'après la plantation et un développement suffisant du système racinaire des plants pour permettre un bon support du substrat bactérien. Quelques mois sont nécessaires pour atteindre un niveau de fonctionnement normal d'un point de vue épuratoire.

Guide de dimensionnement, de construction et de fonctionnement d'un filtre végétalisé

Il est important d'enlever mensuellement (et pendant toute la première année) les adventices et les arbres et arbustes qui s'implanteraient dans les graviers et aux alentours du filtre

Précautions particulières :

Pour les filtres pouvant encourir un risque de dégradation tant humain (enfants) qu'animalier (chiens, ...), l'ouvrage sera protégé par une clôture.

Pour les filtres situés dans une zone pouvant encourir une risque d'inondation ou de coulée boueuse, un aménagement de protection (diguette) sera prévu afin de protéger l'ouvrage.

Pour les filtres situés dans des zones à gel intense, les chambres de visite et le bac de débordement seront couverts d'un géotextile et d'une couche de sable d'au moins 20 cm. Il est aussi recommandé dans ce cas de poser une couche de gravier et un paillis au-dessus des deux tuyaux de répartition et des gros galets à l'entrée du filtre.

Procédure d'entretien normal et de vérification

Les éléments suivants seront vérifiés lors de chaque visite :

Vérification de la date de la dernière vidange des boues de la fosse septique,  
Vérification de la date de nettoyage des chambres de visite et tuyaux,  
Vérification de la date du dernier entretien.

Lors de l'entretien qui se fera annuellement, un contrôle visuel sera effectué au niveau de la fosse septique, des chambres de visite, des tuyaux de répartition et du bac de débordement.

Le contrôle visuel devra permettre de vérifier :

- que la fosse septique (ou digesteur) n'est pas envahie de déchets non dégradés ou dégradables,
- qu'aucune fissure n'est présente au niveau des enduits d'étanchéité ;
- que l'étanchéité au niveau des raccordements et des tuyauteries (voir s'il y a des fuites lors de l'écoulement des eaux) est assurée ;
- qu'aucun dépôt ne s'est formé au niveau des tuyaux de répartition (voir si l'écoulement se fait bien par tous les trous prévus) ;
- qu'aucune racine de Phragmite n'est entrée dans les tuyaux de répartition ;
- que le niveau du tuyau de débordement est toujours à 54 cm par rapport au fond du filtre.

Guide de dimensionnement, de construction et de fonctionnement d'un filtre végétalisé

Le cas échéant, procéder au nettoyage minutieux des dépôts et déchets, réparer les fuites constatées aux parois, bâches et tuyaux, nettoyer les tuyaux de répartition et enlever les plantes gênantes.

#### L'analyse

Une analyse d'eau (DCO, DBO et MES) permet de vérifier le bon fonctionnement épuratoire du filtre.

#### Contrôle de développement végétatif

Toute plante proliférant dans les galets à l'entrée ou à la sortie du filtre sera systématiquement arrachée.

Les abords des cellules du filtre seront fauchés de manière à garder un développement herbagé limité au maximum à 25 cm.

Tous les arbres et arbustes situés à moins de 3 mètres du filtre seront systématiquement éliminés. Seules des haies taillées annuellement sont admises à moins de 3 mètres.

#### Enlèvement des objets exogènes

On procèdera régulièrement à un ramassage des objets exogènes : inertes et organiques qui se seraient déposés sur la surface du filtre.

Curage des tuyaux à l'aide d'un nettoyeur haute pression muni d'un 'rat' : les tuyaux de répartition, les drains d'évacuation et le collecteur d'évacuation seront curés si les écoulements sont anormaux lors de l'accumulation d'eaux et de boues.

#### Pannes **du filtre**

Les interventions en milieu septique comportent un risque réel pour la santé et nécessitent des précautions particulières : la peau et les vêtements ne pourront en aucun cas être en contact direct avec les matières biologiques contenues dans les différents organes de la filière. Les yeux seront protégés par des lunettes de sécurité.

En cas de contact et/ou d'ingestion accidentels, rincez les parties exposées abondamment à l'eau claire et dirigez vous chez le médecin.

- Les racines des plantes ont envahi les tuyaux de répartition ou le drain.

Enlever les bouchons,

Passez un 'rat' ou une tige métallique dans une des extrémités des tuyaux de répartition ou du drain jusqu'à ce qu'il débouche aisément par l'autre extrémité,

Otez précautionneusement les galets se trouvant en face des tuyaux de répartition ou du drain,

Sectionnez la ou les racines et procédez à l'extraction.

Guide de dimensionnement, de construction et de fonctionnement d'un filtre végétalisé

Remettez en place les galets.  
Remplacez les bouchons des tuyaux

- Colmatage de la cellule.

Lorsque les eaux usées affleurent à la surface des graviers, un colmatage du drain ou du filtre s'est produit. Procédez d'abord au nettoyage du drain (tuyau de sortie). Si cela ne permet toujours pas à l'eau de s'écouler dans les graviers (et non à la surface de ceux-ci), il faut :

- placer une pompe immergée dans le fond de la couche de galets situés à la sortie du filtre et enlever l'eau au fur et à mesure,
- enlever les galets situés à l'entrée du filtre et nettoyer les soigneusement des boues et racines,
- replacer les et vérifier ensuite l'écoulement des eaux ;

En cas d'échec, il faut enlever tous les graviers fins et nettoyer les des boues et racines de roseaux, replacer les et replanter des roseaux.

ANNEXES

**Annexe 1 : Photos de la construction de filtres végétalisés à Dayet Ifrah**



Tuyau PVC 110 mm enrobé de sable stabilisé au ciment ou au béton armé (sous route)



Chambre de visite (à l'angle de 2 conduites) ; couvercle non encore placé



Arrivée des tuyaux d'eaux usées de l'école et de la mosquée et terrassement pour le digesteur (pré-traitement)



Dalle de fond du digesteur (4 m<sup>3</sup>)

Guide de dimensionnement, de construction et de fonctionnement d'un filtre végétalisé



Construction du dôme du digesteur



Fondations du filtre végétalisé



Mur de soutènement du filtre végétalisé



Dôme du digesteur



Digesteur et filtre végétalisé



Plantes collectées par le Projet AGIRE dans les lacs des

Guide de dimensionnement, de construction et de fonctionnement d'un filtre végétalisé

	<p>environs</p> 
<p>Dalle de fond du filtre végétalisé et raccordement au digesteur</p>	<p>Mur de soutènement du filtre végétalisé et 1ers blocs de béton</p>
	
<p>Enduits sur les parois internes et sommets des murets</p>	<p>Protection de la conduite du digesteur au filtre</p>

Guide de dimensionnement, de construction et de fonctionnement d'un filtre végétalisé



Préparation d'un mélange paille-argile



Pour l'isolation du digesteur



Fermeture du couvercle du digesteur



Tuyau (drain) de sortie des eaux (avant son placement)



Préparation des tuyaux d'alimentation et de sortie



Placement des graviers

Guide de dimensionnement, de construction et de fonctionnement d'un filtre végétalisé



Ajustement du tuyau d'alimentation et placement des galets à l'entrée du filtre



Plantation du filtre



Filtre planté (côté sortie)

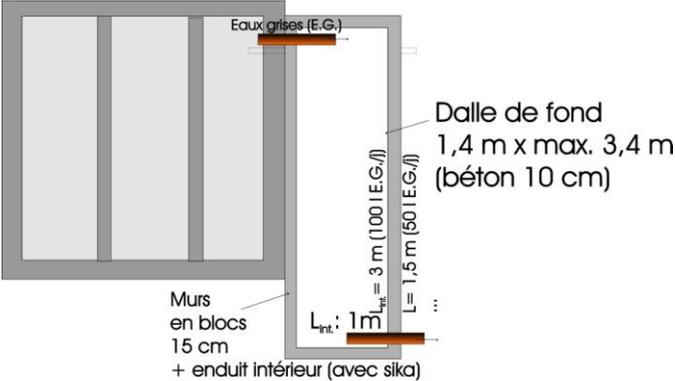


Chambre de visite de sortie des eaux épurées



Remblaiement des digesteur et

Guide de dimensionnement, de construction et de fonctionnement d'un filtre végétalisé

<p>conduites</p>  <p>Filtre végétalisé pour les eaux grises d'une TDSU</p>	
	<p>Traitement des eaux grises d'une TDSU</p> <p><b>TDSU</b>      Filtre végétalisé</p>  <p>Eaux grises (E.G.)</p> <p>Dalle de fond 1,4 m x max. 3,4 m (béton 10 cm)</p> <p>Murs en blocs 15 cm + enduit intérieur (avec sika)</p> <p><math>L_{\text{filt}} = 3 \text{ m (100 l E.G./l)}</math> <math>L = 1,5 \text{ m (50 l E.G./l)}</math> ...</p> <p><math>L_{\text{filt}}: 1 \text{ m}</math></p> <p><small>M. Wauthelet 1/8/2010</small></p>