

ÉPURATION DES EAUX USEES DOMESTIQUES PAR **FILTRES PLANTES DE MACROPHYTES**

RECOMMANDATIONS TECHNIQUES
POUR LA **CONCEPTION** ET LA **REALISATION**



Groupe Macrophytes et
Traitement des Eaux



Cet ouvrage est un **document collectif** élaboré
à l'initiative du groupe français « MACROPHYTES ET TRAITEMENT DES EAUX »

Avec notamment la participation de :

Agence de l'Eau R.M.C.	Arthur IWEMA
Agence de l'Eau R.M.	Dominique RABY
Agence de l'Eau S.N.	Jacques LESAVRE
M.A.A.P.R. (Mission d'Appui Technique)	Catherine BOUTIN
CEMAGREF	Pierre-Henri DODANE Alain LIÉNARD Pascal MOLLE
E.N.G.E.E.S.	Christian BECK Georges Antoine SADOWSKI
E.S.I.G.E.C.	Gerard MERLIN
I.N.S.A. Strasbourg	Sébastien DAP Céline OHRESSER Jean-Bernard POULET
REEB ATELIER	Georges REEB Martin WERCKMANN
S.I.N.T.	Dirk ESSER

1^{er} juin 2005

Avec l'aide matérielle des Agences de l'Eau
Rhône Méditerranée et Corse,
et Rhin Meuse

Table des matières

LES PRINCIPES DE FONCTIONNEMENT DES FILTRES	6
I.1. LES FILTRES PLANTES A ECOULEMENT VERTICAL.....	6
I.2. LES FILTRES A ECOULEMENT HORIZONTAL	8
I.3. LE ROLE DES MACROPHYTES	9
LA CONCEPTION	10
I.4. LES CONTRAINTES.....	10
I.4.1. <i>Domaine d'application</i>	10
I.4.2. <i>Les contraintes géotechniques</i>	10
I.4.3. <i>La topographie et surfaces disponibles</i>	10
I.4.4. <i>Le climat</i>	11
I.4.5. <i>Le milieu récepteur</i>	12
I.4.6. <i>Les contraintes d'environnement</i>	12
I.5. LES DONNEES DE BASE	12
I.5.1. <i>Les flux hydrauliques</i>	12
I.5.2. <i>Les flux massiques</i>	13
I.5.3. <i>Les niveaux de rejet</i>	14
I.6. QUELQUES CONFIGURATIONS POSSIBLES	15
I.7. LES FILTRES A ECOULEMENT VERTICAL.....	17
I.7.1. <i>Le prétraitement</i>	17
I.7.2. <i>L'alimentation du premier étage avec des eaux brutes</i>	18
I.7.3. <i>La répartition des eaux brutes sur le premier étage</i>	20
I.7.4. <i>L'alimentation du deuxième étage avec des eaux traitées</i>	20
I.7.5. <i>La répartition des eaux traitées sur le deuxième étage</i>	21
I.7.6. <i>Les lits</i>	22
I.7.7. <i>L'évacuation de l'eau</i>	24
I.7.8. <i>L'évacuation des boues</i>	25
I.8. LES FILTRES A ECOULEMENT HORIZONTAL	26
I.8.1. <i>Prétraitement</i>	26
I.8.2. <i>Traitement primaire</i>	26
I.8.3. <i>L'alimentation</i>	26
I.8.4. <i>La répartition</i>	27
I.8.5. <i>Les lits</i>	28
LA REALISATION	32
I.9. DES DOCUMENTS.....	32
I.10. DES RECOMMANDATIONS TECHNIQUES.....	33
I.10.1. <i>L'étanchéité</i>	33
I.10.2. <i>Le garnissage des lits</i>	34
I.10.3. <i>La plantation des macrophytes</i>	35
LES ESSAIS A DIVERSES ETAPES	36
I.11. PENDANT LA REALISATION	36
I.12. AVANT LA MISE EN ROUTE.....	36
I.13. PENDANT LA PERIODE DE MISE EN REGIME.....	36
I.14. PENDANT LA PERIODE D'OBSERVATION.....	37
I.15. LES ESSAIS DE GARANTIE	37
I.16. AU-DELA DU DELAI DE GARANTIE.....	37
I.17. AVANT CURAGE DES BOUES	37
L'EXPLOITATION	38
I.18. L'ENTRETIEN GENERAL	38
I.19. TACHE PARTICULIERE : LE FAUCARDAGE	38
I.20. L'EVACUATION DES BOUES	39

Liste des figures

Figure 1 : Coupe transversale schématique d'un filtre à écoulement vertical	6
Figure 2 : Coupe transversale schématique d'un filtre à écoulement horizontal.....	8
Figure 3 : Surface brute nécessaire en fonction de la capacité de la station en habitant.....	11
Figure 4 :Diverses configurations possibles.....	15
Figures 5 : Vue d'un réseau superficiel de tuyaux percés d'orifices.....	21
Figure 6 : Deux cas possibles d'alimentation d'un lit à flux horizontal : (cas a) en haut et (cas b) en bas. (d'après EPA, 2000)	27
Figure 7 : Dispositif d'évacuation en sortie de lits plantés à flux horizontal, d'après EPA, 2000.....	31

Préambule

La technologie des filtres plantés de macrophytes pour le traitement des eaux des collectivités est une technique au développement récent. Apparu en France dans les années 80, ce type de traitement a vu son développement s'accroître depuis 1997.

La forte demande actuelle pour ce type de stations d'épuration de la part des élus est réelle. Il s'agit d'une technologie fiable, simple d'exploitation, facilitant grandement la gestion des boues (en ce qui concerne les filtres à écoulement vertical) et qui, de surcroît, est bien acceptée par les habitants en raison d'une image ressentie comme "naturelle", renforcée par sa bonne aptitude à l'intégration dans le paysage rural.

De nombreux acteurs interviennent soit en amont de ces projets, tels les bureaux d'études, les Agences de l'Eau et les Conseils Généraux, soit dans la phase de construction tels les maîtres d'œuvre et les constructeurs ou lors du fonctionnement tels les exploitants et les SATESE.

A ce jour, les documents techniques facilement accessibles à ces acteurs sont peu nombreux. Il s'agit principalement de documents décrivant les principes de fonctionnement et les ordres de grandeur des caractéristiques fonctionnelles et des dimensions. Pour répondre au besoin d'une information plus complète, il a paru au groupe français "Macrophytes et Traitement des Eaux" qu'il était opportun de rédiger un document qui dépasse la seule vocation descriptive, et qui aborde également de façon plus précise les éléments de dimensionnement, de mise en œuvre et de réalisation. A ce titre ce document a pour objectif de décrire plus précisément comment concevoir et réaliser les filières de filtres plantés de roseaux.

Ce document décrit principalement la filière «classique» de filtres plantés de roseaux telle qu'étudiée dans les années 80-90 par le Cemagref (filtres à écoulement vertical en deux étages) et qui représente à ce jour la grande majorité des filtres en France. Il aborde également, mais de façon plus sommaire, les filtres à écoulement horizontal très pratiqués ailleurs en Europe mais dont il existe moins de retour d'expérience en France. Le traitement des eaux d'origine industrielle ou des eaux de ruissellement n'est pas abordé dans cet ouvrage.

Le document ne prétend donc pas traiter toutes les configurations possibles de filtres ou leurs combinaisons. Par ailleurs, certains systèmes proposés par les constructeurs comportant des caractéristiques particulières (granulats, systèmes d'aération, ...) ne sont pas abordés dans ce document en attendant de plus de recul pour en évaluer les performances et en cerner des règles de dimensionnement. Les prescriptions, recommandations et suggestions contenues dans ce guide sont donc susceptibles d'évoluer en fonction des avancées techniques, des retours d'expériences et des recherches relatives à l'épuration des eaux usées domestiques sur d'autres configurations ou types de systèmes plantés de macrophytes et plus généralement sur les systèmes dits à "cultures fixées sur supports fins" qu'ils soient plantés ou non.

L'usage approprié de ce document par les différents intervenants devrait permettre, là où leur usage est pertinent, la mise en place de filtres plantés dans des bonnes conditions.

Ce document reflète l'état de l'art actuel de la filière "lits plantés de macrophytes", telle qu'elle est mise en œuvre en France à la période de rédaction. Ce guide est donc évolutif et pourra être mis à jour dans ses prochaines versions.

Par ailleurs il ne constitue pas une norme et ne saurait figer une technologie jeune et encore en plein développement. **L'appel à des concepteurs ou constructeurs spécialisés pour la réalisation restera cependant indispensable, ce guide ne prétend pas s'y substituer.**

Le guide est organisé autour de cinq chapitres :

- LE PRINCIPE DU FONCTIONNEMENT
- LA CONCEPTION
- LA REALISATION
- LA MISE EN SERVICE, LA RECEPTION, LES ESSAIS DE GARANTIE
- L'EXPLOITATION

LES PRINCIPES DE FONCTIONNEMENT DES FILTRES

L'épuration est réalisée selon le principe de l'épuration biologique principalement aérobie dans des milieux granulaires fins à grossiers. On ne procède pas au renouvellement régulier du massif filtrant ou à son lavage pour l'évacuation des boues biologiques produites *au sein* des filtres. En revanche, les boues produites *en amont* des filtres (sur les filtres ou dans un dispositif de décantation) devront être évacuées.

On distingue deux types de filtres plantés, suivant le sens de l'écoulement :

- Les filtres à écoulement vertical
- Les filtres à écoulement horizontal

Les stations à filtres plantés sont généralement un assemblage de lits en parallèle et/ou en série.

I.1. LES FILTRES PLANTÉS A ECOULEMENT VERTICAL

Les stations d'épuration à filtres plantés de roseaux à **flux vertical** sont souvent constituées au minimum de deux étages en série eux-mêmes constitués de deux ou trois filtres en parallèle fonctionnant en alternance. L'objectif de cette alternance est de minimiser le colmatage du filtre grâce à la minéralisation, pendant les phases de repos, de la matière organique accumulée. Le temps de repos nécessaire sur le premier étage est environ deux fois le temps de fonctionnement ce qui conduit à 3 lits en parallèle. Pour le deuxième étage les temps de repos et de fonctionnement sont équivalents : 2 lits suffisent donc. La rotation s'effectue le plus souvent tous les 3-4 jours. Les filtres du premier étage sont exclusivement constitués de différents types de graviers dans lesquels les phénomènes d'aération par diffusion sont sensiblement plus élevés que dans du sable.

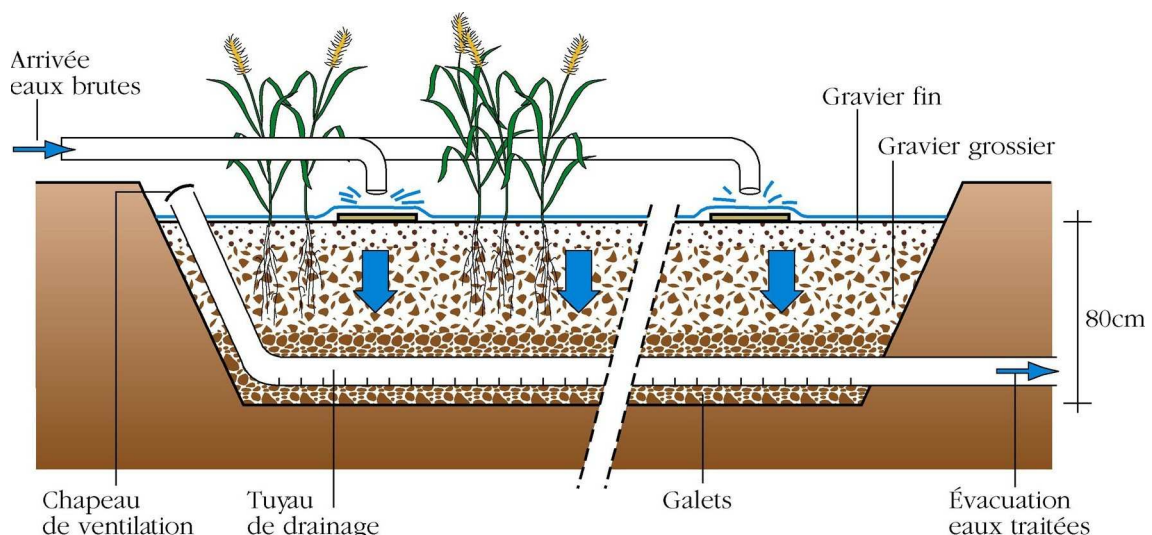


Figure 1 : Coupe transversale schématique d'un filtre à écoulement vertical¹

¹ Extrait de « Épuration des eaux usées par des filtres plantés de macrophytes, Une étude bibliographique » Agence de l'eau RMC-1999

Les principaux mécanismes d'épuration s'appuient sur la combinaison de plusieurs processus en condition aérobie, qui se déroulent successivement sur les deux étages de traitement en série.

- Les filtres à écoulement vertical sont alimentés en surface et l'effluent percole verticalement à travers le substrat. L'effluent subit alors une première étape de **filtration** permettant une rétention physique des **matières en suspension** à la surface des filtres du 1^{er} étage. On observe ainsi une accumulation de boues en surface.
- La **dégradation biologique** des **matières dissoutes** est réalisée par la biomasse bactérienne aérobie fixée sur le support non-saturé ainsi que sur la couche de dépôt accumulée en surface.

La capacité d'oxygénation est telle que les filtres du premier étage contribuent essentiellement à la dégradation de la *fraction carbonée*, mais une *nitrification* partielle est également notée. Le deuxième étage vient alors affiner la dégradation de la fraction carbonée et complète la nitrification en fonction des conditions d'oxygénation, de la température et du pH.

L'oxygénation, phénomène primordial de ce type de filière, est obtenue par une alimentation par bâchées, créant un phénomène de convection lors des déplacements de l'eau dans le massif filtrant ainsi que par diffusion gazeuse, depuis l'atmosphère par la surface, lorsque la plage d'infiltration est dénoyée. Les drains, mis en contact avec l'atmosphère, assurent également un rôle important dans l'oxygénation des massifs filtrants par diffusion quand la granulométrie des matériaux n'est pas trop fine pour qu'ils soient maintenus à saturation par capillarité.

Dans le but d'optimiser cette oxygénation et l'utilisation de l'ensemble du réacteur biologique qu'est le filtre, chaque bâchée doit se répartir uniformément sur l'ensemble de la surface du lit.

Les conditions aérobies n'autorisent pas la *dénitrification* dans ces dispositifs. La *déphosphatation* également, n'est pas un objectif atteignable du fait des faibles capacités d'adsorption des matériaux essentiellement siliceux et de l'assimilation négligeable des plantes, au regard des charges appliquées. Sauf disposition spéciale, la *décontamination* est quasi nulle au regard des faibles temps de séjour des effluents dans le système.

- La nécessaire limitation, pour éviter le colmatage, du développement de la biomasse bactérienne dans les massifs filtrants est obtenue par **auto-oxydation** au cours des phases de repos. C'est pourquoi les dispositifs de filtration plantés verticaux sont constitués de plusieurs files, trois au premier étage et deux au deuxième, en parallèle et alimentées en alternance.
- Le **rôle des roseaux** sur le premier étage à flux vertical est principalement **mécanique**. Le développement dense des tiges de roseaux qui partent des nœuds des rhizomes (tiges souterraines) et viennent percer la couche de dépôts superficiels, crée des cheminements qui se prolongent jusqu'à l'ensemble du système racinaire et de là à la couche drainante des filtres, évitant ainsi le colmatage même en cas d'apport d'eaux usées domestiques brutes, c'est-à-dire non décantées.

L'expérience acquise en une quinzaine d'années à Gensac la Pallue révèle qu'à l'ombre des roseaux et dans une hygrométrie adéquate se développe une biomasse microbienne, au sein même des dépôts organiques retenus sur la plage d'infiltration. Cette biomasse contribue à la minéralisation des matières organiques dans une proportion avoisinant 65 % en masse par rapport aux flux reçus. Il en résulte un terreau qui s'accumule à raison d'une quinzaine de mm par an et constitue aussi un biofiltre qui conserve une bonne perméabilité.

L'activité épuratoire du terreau s'ajoute à celle qui se développe initialement dans le massif filtrant minéral. On observe sur ce site une tendance à l'amélioration des rendements avec le vieillissement de l'installation.

I.2. LES FILTRES A ECOULEMENT HORIZONTAL

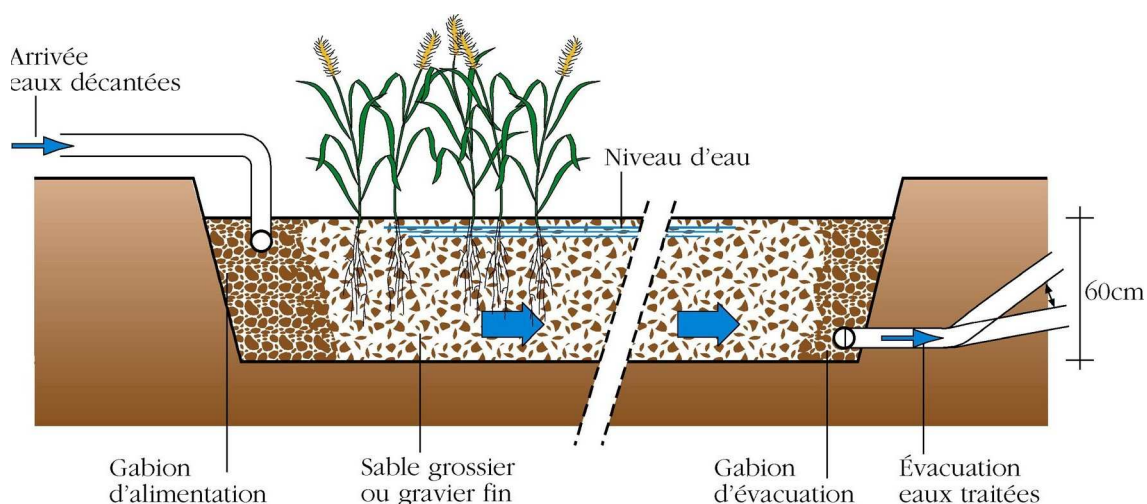


Figure 2 : Coupe transversale schématique d'un filtre à écoulement horizontal²

- Les **filtres horizontaux** sont, quant à eux, complètement saturés en eau par un système de siphon en sortie permettant de régler la hauteur d'eau dans le bassin. Des gabions de répartition en entrée et sortie de filtre permettent une distribution, ainsi qu'une récupération, à peu près homogène des eaux. Plus sensibles au colmatage que les filtres à écoulement vertical, les filtres horizontaux sont nécessairement alimentés par des eaux préalablement débarrassés de leurs matières en suspension. Cela peut se faire soit par l'intermédiaire d'un décanteur-digester ou d'une fosse toutes eaux, placé en amont, soit par un premier étage de filtration planté à écoulement vertical.
- Les matières dissoutes sont dégradées dans le massif de filtration par la biomasse bactérienne fixée sur le support.
- Le niveau d'eau en sortie de filtre horizontal dépend de l'évolution de la perméabilité du massif filtrant au cours du temps et de la variation des charges hydrauliques. Il est ajustable par un système de rehausse sur toute la hauteur du filtre.
- L'aération résulte uniquement des apports provenant des racines des plantes et de la diffusion gazeuse dans la partie non saturée superficielle. L'apport d'oxygène par unité de surface est donc beaucoup plus faible que pour des filtres à écoulement vertical et en conséquence les surfaces utiles mises en œuvre sont plus importantes. Cette surface doit être modulée en fonction des objectifs assignés au filtre horizontal en prenant en compte les abattements réalisés dans les équipements installés en amont.
- L'apport relativement faible en oxygène limite la croissance des bactéries aérobies hétérotrophe et autotrophe et, par voie de conséquence, la dégradation des matières carbonées et surtout l'oxydation des composés azotés. Toutefois des mécanismes anaérobie et aéro-anaérobie interviennent au contact des racines des macrophytes (effet rhizosphère) et participent à la dégradation des matières carbonées et à la transformation des formes réduites de l'azote.

L'expérience concernant ces filtres est encore limitée en France mais leur nombre augmente, surtout en aval d'un premier étage vertical.

² Extrait de « Épuration des eaux usées par des filtres plantés de macrophytes, une étude bibliographique » Agence de l'eau RMC-1999

I.3. LE ROLE DES MACROPHYTES

Au-delà de l'aspect esthétique et leur rôle mécanique (primordial sur le premier étage des filtres verticaux, voir I.1)), les macrophytes contribuent indirectement à la dégradation des matières organiques de l'effluent brut.

- **La croissance des racines et des rhizomes** permet un maintien ou une régulation de la conductivité hydraulique initiale. La faible granulométrie du substrat (sable ou gravier) ainsi que l'apport important de matière organique sont propices au colmatage du filtre. La croissance des parties racinaires limite ces risques en formant des pores tubulaires le long des racines qui se développent. Toutefois, il ne faut pas compter sur une amélioration de la conductivité hydraulique du matériau d'origine.

- **De petites quantités d'oxygène** provenant des parties aériennes sont rejetées à l'apex des radicelles des plantes quel que soit le type de filtres dans lesquels elles sont enracinées. Ces apports sont toujours faibles. Dans les filtres verticaux, la fraction d'oxygène ainsi apportée est négligeable comparativement aux apports par diffusion et convection déjà mentionnés. Dans les filtres horizontaux en revanche, si l'apport par les plantes est faible, il constitue probablement la principale source d'oxygène. Les surfaces actives doivent être adaptées aux apports d'oxygène potentiels et sont donc plus importantes dans le cas de filtres horizontaux.

- **Le développement racinaire** accroît la surface de fixation pour le développement des micro-organismes et pour des réactions de précipitation. A cet accroissement de surface active, s'ajoute très certainement aussi un facteur encore très mal documenté de stimulation de l'activité, voire de la diversité et de la densité des micro-organismes, impliqués à divers titres dans les processus épuratoires. Il s'agit d'un concept bien connu en agronomie et qui peut se résumer sous la forme triviale suivante "un sol planté est biologiquement plus riche et actif qu'un sol nu", mentionné parfois sous le terme « effet rhizosphère ». Les tissus racinaires et leurs exsudats constituent vraisemblablement des niches plus accueillantes pour les micro-organismes que des substrats minéraux inertes.

- **Le métabolisme des plantes** (assimilation de nutriments) influence plus ou moins le traitement en fonction des surfaces mises en jeu. Si pour les filtres plantés à écoulement vertical l'assimilation des nutriments est négligeable (moins de 1 % de la charge entrante pour le phosphore), les surfaces plus importantes dans les filtres horizontaux peuvent conduire à des prélèvements pouvant être raisonnablement pris en compte dans les bilans, mais qui devraient cependant se situer autour de 5 % pour l'azote et sensiblement moins pour le phosphore. Tous ces éléments ne sont pas directement exportables dans la biomasse faucardable, mais se trouvent aussi piégés dans le système racinaire dont le devenir à long terme, c'est-à-dire sur une quinzaine d'années, n'a pas encore été très étudié. En revanche, l'évapotranspiration des plantes peut avoir un impact important sur les bilans hydriques pour de grandes surfaces unitaires mises en jeu.

- **La couverture foliaire** préserve la surface des filtres de la dessiccation en été. Elle procure également un ombrage qui permet aux bactéries de se développer, contribuant ainsi à la minéralisation de la matière organique. L'évapotranspiration estivale conduit à une forte diminution du volume sortant. En hiver, elle atténue l'impact négatif des faibles températures sous des climats froids.

D'une façon plus générale le milieu filtrant, grâce à la présence des racines, possède une grande diversité d'espèces (bactéries, protozoaires, invertébrés) dont la présence dépend étroitement de la charge organique et des conditions de renouvellement de l'oxygène. Tous ces organismes participent également, comme prédateurs, à la diminution des populations de bactéries fécales, mais les abattements sont aussi sous la dépendance des temps de séjour.

LA CONCEPTION

I.4. LES CONTRAINTES

I.4.1. Domaine d'application

Dans le contexte technico-économique français, les filtres plantés de roseaux sont mis en œuvre dans une gamme de capacités ne dépassant pas quelques milliers d'habitants environ (généralement inférieur à 2000 EH). Des conditions favorables, sites de tourisme estival par exemple, pourraient justifier le choix de cette filière de traitement pour des capacités supérieures.

Les filtres plantés sont destinés au traitement des **eaux usées domestiques**, issues de réseaux collectifs unitaire et séparatif. Le dimensionnement des installations doit cependant tenir compte des spécificités des flux propres à chaque cas. Des flux limités de pollution en provenance de salle de traite et de fromagerie, eaux blanches, eaux vertes, effluent vinicole, etc... peuvent être pris en compte dans le dimensionnement, à l'exclusion du lactosérum et de tout lait impropre à la commercialisation.

I.4.2. Les contraintes géotechniques

Les données géotechniques conditionnent les caractéristiques des ouvrages qui seront implantés et le mode de réalisation de ceux-ci. La conception des ouvrages tiendra compte de la présence d'une nappe phréatique, de l'inondabilité de la zone, de la possibilité d'infiltration dans le sol et des caractéristiques géotechniques. Une étude de sol approfondie est nécessaire pour apprécier ces contraintes.

I.4.3. La topographie et surfaces disponibles

La topographie conditionne l'implantation des ouvrages. L'écoulement de l'effluent devrait suivre la pente naturelle du terrain si les conditions le permettent.

Pour une station à deux étages constituées de **filtres à écoulement vertical**, alimentée gravitairement, il faut pouvoir disposer de **4 m minimum** entre le point d'entrée des eaux usées sur le site et le point de rejet vers le milieu naturel. Cette dénivelée doit être plus importante (≈ 6 m) pour de grandes unités.

Pour implanter **un filtre à écoulement horizontal**, il faut prévoir une **dénivelée d'environ 1 m minimum** pour une configuration comprenant successivement un dégrilleur, un décanteur et un filtre planté à écoulement horizontal.

Une surface brute (Lits + Voieries-Réseaux-Divers) suffisante doit être prévue pour l'implantation de la station.

On peut retenir les données suivantes :

- **4 à 8 m²** par habitant pour les stations composées de **filtres à écoulement vertical** avec une surface utile de 2 à 2,5 m² par habitant à moduler en fonction des flux hydrauliques attendus.

N.B. En cas de terrain pentu la surface totale nécessaire peut être plus élevée en raison de l'emprise des talus des plates-formes des filtres.

On notera que la surface brute d'une station composée de deux étages évolue en fonction de la capacité de la station. Le graphique suivant, sans prétendre être normatif, donne une indication des surfaces minimum nécessaires suivant la capacité de la station. Ces surfaces peuvent varier suivant la topographie et la géométrie de la parcelle disponible.

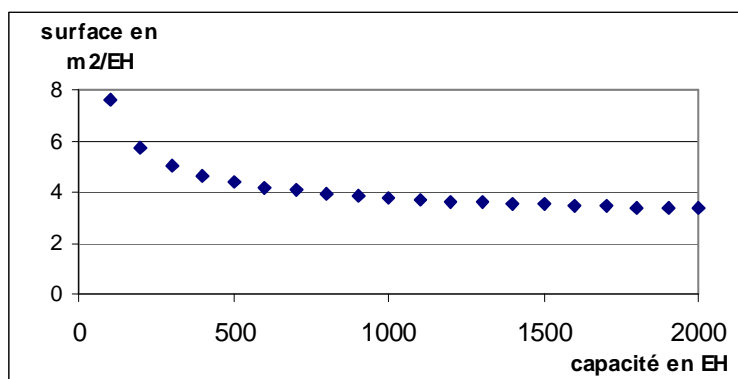


Figure 3 : Surface brute nécessaire en fonction de la capacité de la station en habitant.³

- **8 à 9 m²** par habitant avec une surface utile de filtre d'environ 5 m² sont nécessaires en traitement complet par **lits horizontaux** (précédés par une décantation primaire).

Les véhicules d'entretien doivent pouvoir accéder aux abords des filtres.

I.4.4. Le climat

La conception tiendra compte des contraintes climatiques notamment des périodes de grands froids.

Les filtres horizontaux sont compatibles avec les climats rigoureux. Les filtres verticaux, du fait de l'arrivée de l'eau à la surface, sont plus sensibles au froid.

L'expérience actuelle montre que le premier étage d'une station à lits à flux vertical, continue à traiter correctement les matières en suspension et matières organiques pendant plusieurs semaines de grand froid (- 15 °C). Pour cette même température, le deuxième étage prend en glace et une évacuation des eaux sortant du premier étage doit être prévue. Le fait de laisser les roseaux en place, après le faucardage, peut retarder la prise en glace.

Il n'y a en revanche aucune contrainte spécifique imposée par les climats chauds de France métropolitaine.

³ Extrait de « Épuration des eaux usées par des filtres plantés de macrophytes. Une étude bibliographique » Agence de l'eau RMC-1999.

I.4.5. Le milieu récepteur

La loi sur l'eau du 3 janvier 1992 est le texte qui régit la façon dont l'eau est rendue au milieu récepteur. Pour des installations traitant un flux polluant inférieur à 120 kg DBO5/j, l'arrêté du 21 juin 1996 et la circulaire du 17 février 1997 s'appliquent plus particulièrement.

L'objectif de qualité du milieu récepteur conditionne le niveau de rejet de la station. Outre la possibilité de rejet dans le réseau hydrographique superficiel, on pourra étudier l'éventualité d'une infiltration souterraine pour les plus petits ouvrages.

Quand une zone de transition naturelle (fossé végétalisé, zone marécageuse, ...) existe entre le point de rejet de la station et le milieu hydraulique superficiel, il peut être intéressant d'étudier le rôle tampon de ce milieu naturel et les possibilités d'infiltration dans le sol, voire d'amélioration complémentaire de la qualité du rejet qu'il est susceptible d'offrir.

I.4.6. Les contraintes d'environnement

En l'absence de dispositif mécanique, les nuisances sonores sont inexistantes.

La qualité de l'air au voisinage d'une station à filtres plantés peut être détériorée en présence d'un décanteur-digesteur et lors d'épisodes accidentels de stagnation de l'eau. Des filtres plantés à écoulement vertical alimentés en eaux brutes ne présentent pas de risques d'odeurs désagréables si l'eau usée débouchant du réseau ne sent pas elle-même.

La présence de roseaux permet une bonne intégration paysagère.

Les eaux n'étant pas stagnantes, le milieu n'est pas favorable au développement de larves de moustiques.

I.5. LES DONNEES DE BASE

I.5.1. Les flux hydrauliques

Dans tous les cas, la connaissance des débits réels est primordiale.

Les volumes d'eaux claires parasites et permanentes seront quantifiés en période nocturne, par temps sec et par temps humide. Ces données permettent d'adapter la station aux débits générés, à la dilution de l'effluent et de tenir compte de leur incidence sur les niveaux de rejets.

En l'absence de données mesurées et pour un réseau réputé séparatif, le volume journalier d'effluent rejeté par un habitant peut être pris égal à 150 litres (100 l d'eau usée et 50 l d'eau parasite toutes origines confondues).

Le dimensionnement doit prendre en compte le débit maximum **journalier** susceptible d'être reçus. Les surfaces mises en œuvre devront être adaptées à ces débits en prenant en compte la perméabilité qui peut raisonnablement être attendue après colonisation du milieu granulaire par la biomasse épuratoire.

(Les débits maximums **horaires** ne servent donc pas au dimensionnement des filtres mais seront utiles en revanche pour le dimensionnement des prétraitements et d'un déversoir d'orage en tête le cas échéant).

Pour un réseau unitaire, on retiendra outre les débits journaliers de temps sec, ceux du temps de pluie ainsi que le débit conservé à l'aval des dispositifs limitant les flux (déversoir d'orage ou pompage) au regard des pluviométries de référence retenues.

I.5.2. Les flux massiques

Le **dimensionnement** de ces dispositifs, en terme de charge traitée par unité de surface, est encore empirique et se traduit généralement en **m² par habitant**.

Le nombre d'habitants raccordés et les variations de population seront fournis dans le cahier des charges.

De même, les caractéristiques particulières des eaux usées telles la présence de fosses septiques, la septicité générale liée à un temps de séjour important dans le réseau, la présence de rejets d'exploitations agricoles, ... seront signalées.

En cas de présence d'industries agro-alimentaires, les caractéristiques des flux seront données en précisant la fraction dissoute des polluants.

La capacité de l'installation sera définie en terme de flux polluants, de préférence sur la base de mesures ou par la traduction des habitants raccordés en flux. Cette traduction sera explicitée.

En absence de données de mesures, on pourra retenir comme flux unitaires **en milieu rural** :

DBO ₅	50	grammes par jour et par habitant.
DCO	120	grammes par jour et par habitant.
MES	50	grammes par jour et par habitant
	60	grammes jour pour un réseau unitaire
N	10	grammes par jour et par habitant.
P	2	grammes par jour et par habitant.

NB : Les flux massiques et les débits doivent être appréciés en situation actuelle, prochaine et future.

I.5.3. Les niveaux de rejet

La qualité de l'effluent traité fluctue en fonction de la saison et des conditions de température.

Les stations à filtres plantés, qu'elles soient à **2 étages à écoulement vertical** ou qu'elles aient comme **deuxième étage un filtre horizontal**, permettent d'atteindre un niveau d'épuration conforme au **niveau D4** de la circulaire du 17 février 1997, soit une concentration moyenne en sortie sur 24 heures inférieure ou égale à :

- 25 milligrammes par litre de DBO5.
- 125 milligrammes par litre de DCO.
- 35 milligrammes par litre de MES⁴.

On note que les **performances réelles** sont cependant souvent **meilleures**.

Pour un lit à écoulement vertical (*Molle et al., 2004*), on peut obtenir en sortie des concentrations inférieures à 15 milligrammes par litre en MES, inférieures à 15 milligrammes par litre en DBO5 et inférieures à 8 milligrammes par litre en NK (sauf en cas de très basses températures pour ce dernier paramètre).

NB : Une station composée d'un seul étage vertical dimensionné classiquement permet d'atteindre largement le niveau de qualité D1 en sortie (rendement sur la DBO5 > à 30 % et sur les MES > à 50 %). Une conception permettant d'obtenir un niveau D2 (concentration en DBO5 < à 35 mg/l) est possible et demande doit être justifiée.

En l'état actuel, ni la déphosphatation, ni la dénitrification ne sont garanties.

Néanmoins, on constate en moyenne 30 % d'abattement en **phosphore** pour une eau usée domestique au début de la mise en service des filtres. La déphosphatation devient quasi-nulle dès que tous les sites d'adsorption du support minéral sont saturés. Un relargage des phosphates piégés peut se produire lors de surcharges hydrauliques qui lessivent les filtres ou si des conditions anaérobies s'installent dans les lits. Cette dernière éventualité est impossible pour les filtres à écoulement vertical bien conçus et correctement exploités.

La **dénitrification** dépendra classiquement des conditions d'aérobiose ayant prévalu pour nitrifier au préalable, des conditions anoxiques (présence de nitrates et absence d'oxygène dissous) ensuite, de l'apport en matière organique facilement assimilable et du temps de séjour hydraulique minimum.

Pour les filtres *verticaux*, la **nitrification** est souvent élevée, notamment dans les filtres du deuxième étage, mais on n'y trouve alors pas les conditions propices à une dénitrification (présence d'oxygène, absence de carbone facilement assimilable, notamment). Les rejets de nitrates sont, de ce fait, élevés. En dessous d'une température de l'eau de 8 °C, les réactions de nitrification sont fortement ralenties.

Pour les filtres *horizontaux*, le processus de nitrification est plus limité du fait du faible apport d'oxygène même si des mécanismes anaérobies conduisent également à une transformation partielle d'azote ammoniacal en azote gazeux. En raison des conditions plus favorables à la dénitrification, les rendements en azote global peuvent certes être légèrement plus élevés que dans des filtres verticaux mais l'azote ammoniacal résiduel de l'effluent est, d'une part toxique, et d'autre part, constitue un rejet différé de nitrates dans le milieu récepteur.

L'abattement des **germes témoins de contamination fécale** est limité dans les filtres verticaux en raison du transit rapide. Un abattement d'une à deux unités logarithmiques est toutefois réaliste. Dans des filtres horizontaux des abattements de deux unités logarithmiques en hiver et jusqu'à quatre en été, sont possibles.

⁴ (par analogie avec l'arrêté du 22 décembre 1994).

I.6. QUELQUES CONFIGURATIONS POSSIBLES

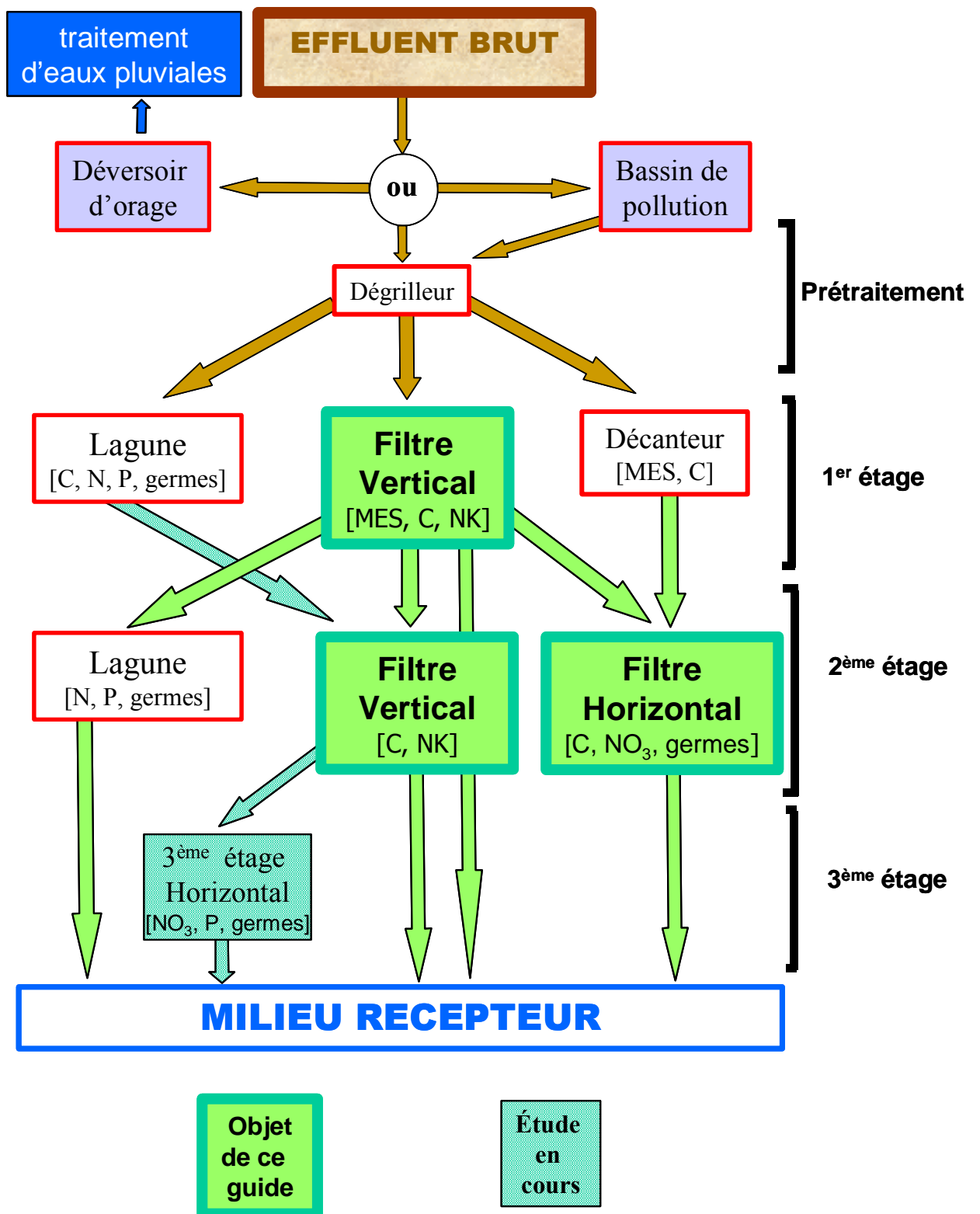


Figure 4 : Diverses configurations possibles

Le schéma précédent donne quelques configurations possibles de stations à filtres plantés. Elles peuvent être plus complexes et notamment inclure une recirculation. Les configurations choisies seront fonction du contexte (ouvrages déjà présents, niveau de traitement exigé, place disponible, dénivelée ...). Ainsi, le nombre d'étages de filtres et le sens de l'écoulement (vertical ou horizontal) dépendra-t-il des traitements déjà présents à l'amont (décantation, lagune, ...) et de leur influence sur la qualité des effluents qui entreront dans le(s) filtre(s) planté(s) à créer.

Il revient donc au concepteur d'analyser la cohérence des particularités de fonctionnement de chaque ouvrage par rapport à l'ensemble de la filière mise en place et au maître d'œuvre de la vérifier.

Ce document traite principalement :

- de la filière 2 étages de filtres à écoulement vertical,
- et de filtres à écoulement horizontal précédés d'un ouvrage de rétention des MES.

I.7. LES FILTRES A ECOULEMENT VERTICAL

I.7.1. Le prétraitement

Le prétraitement constitue une partie importante du procédé de traitement des eaux usées puisqu'il permet aux principaux étages de traitement situés en aval de fonctionner correctement. Le prétraitement vise l'élimination des particules grossières en flottation et en suspension, des sables, des excédents de graisses et d'huile (NF EN 12255-3-2000, Stations d'épuration, Partie 3 – Prétraitements). Si l'unité de prétraitement n'est pas correctement conçue les variations de débit peuvent causer des problèmes de fonctionnement pour les procédés situés en aval. Ceci est particulièrement vrai pour les plus petites stations d'épuration.

Quel que soit le type de filtre, le dégrillage des effluents est obligatoire⁵. Pour des filtres verticaux, alimentés en eaux brutes, les autres types de prétraitement (dessablage, dégraissage) ne se justifient pas dans la majorité des cas. Il faut cependant savoir que des amas de graisses se formeront dans les bâches de relèvement ou de stockage pour le fonctionnement d'un siphon. Si ces amas peuvent être aspirés par les pompes ou le siphon sans risque de bouchage, ils peuvent être répartis sur la surface des filtres où leur dégradation interviendra progressivement sans affecter la qualité du rejet. Une alimentation en eau sous pression est cependant nécessaire pour procéder facilement à des nettoyages épisodiques car ce qui n'est pas enlevé régulièrement du fait de l'absence de dégraisseur doit être évacué lors des interventions du préposé, sinon des dysfonctionnements surviendront à terme.

La vitesse théorique lors du passage à travers le dégrilleur ne doit pas dépasser 1,2 m/s au débit maximal. En outre, il convient que la vitesse dans le canal d'amenée ne soit pas inférieure à 0,3 m/s au débit minimal pour éviter des dépôts inopinés.

Ce dégrillage grossier protège la station d'épuration et évite les obstructions à l'écoulement. Un dégrillage fin permet d'obtenir une boue de meilleure qualité qui ne nécessitera pas de criblage avant épandage. En revanche, il a pour inconvénient une quantité plus importante de déchets à gérer et, dans le cas d'un dégrillage manuel ou panier, des interventions plus fréquentes. Pour le fonctionnement d'un premier étage de filtres verticaux, un entrefer de 50 mm est généralement suffisant. Il doit être en accord avec le diamètre de toutes les canalisations situées en aval de manière à éviter tout risque d'obturation de ces dernières.

Dans le cas d'une alimentation au fil de l'eau, le dégrillage doit s'effectuer sur le canal d'alimentation. En cas de réseau unitaire, l'installation de deux dégrilleurs en série, un premier de 40-50 mm et un second de 20 mm permettent de mieux protéger la station en cas d'arrivée de matières solides plus importantes.

Dans le cas d'une alimentation par un poste de relevage, un panier-dégrilleur (ou un dégrilleur automatique) doit être prévu au niveau de l'arrivée des effluents dans le poste. Il doit être relevable et doit posséder un entrefer de 40 à 50 mm.

Les éléments suivants doivent être prévus :

- Une dérivation en cas de colmatage du dégrilleur.
- Un outil de raclage adapté à la largeur et à l'entrefer de la grille.
- Un bac d'égouttage et de stockage des déchets.

⁵ article 22 de l'arrêté du 21 juin 1996

Le concepteur sera attentif aux risques potentiels pour la santé pouvant survenir lors de la manutention et lors de l'évacuation des refus de dégrillage.

I.7.2. L'alimentation du premier étage avec des eaux brutes

A. Débits et volumes

Afin d'assurer une bonne répartition des eaux brutes avec leurs matières en suspension sur la surface des filtres, l'alimentation doit se faire avec un débit nettement supérieur au débit entrant dans la station. Cela nécessite une alimentation par bâchées et donc des périodes relativement longues de stockage des effluents suivies de périodes courtes d'alimentation à fort débit.

Le dispositif d'alimentation par bâchées, qu'il soit gravitaire ou assuré par poste de refoulement, doit produire un débit instantané suffisant afin :

- d'assurer une bonne répartition des eaux usées et des matières en suspension sur la surface du lit en fonctionnement,
- d'assurer l'autocurage des conduites d'alimentation.

A titre indicatif, un **débit** égal ou supérieur à 0.5 m³/h par m² de lit en cours d'alimentation peut, si le système de distribution est bien conçu, assurer une bonne répartition. Il n'y a pas de limite supérieure du débit d'alimentation et on peut considérer que la répartition est d'autant mieux assurée que le débit surfacique est élevé. La mise en place de débits surfaciques inférieurs à la vitesse d'infiltration des massif ne permettra pas une submersion de la surface des lits et donc induira une répartition médiocre de l'effluent. Cette répartition peut être améliorée par un nombre supérieur de diffuseurs (cf. paragraphe I.7.3) mais ceci ne permettra pas la submersion des filtres. L'ordre de grandeur des vitesses d'infiltration se situe autour de 0,4 m/h avec augmentation en été.

Quant au **volume** apporté par chaque bâchée, il doit permettre d'obtenir une lame d'eau de 2 à 5 centimètres de hauteur, répartie le plus équitablement sur toute la surface du lit planté en service. Il est en effet difficile d'obtenir une bonne répartition avec une lame inférieure à 2 cm et, a contrario, une lame d'eau supérieure à 5 cm augmente la vitesse d'infiltration ce qui nuit au rendement.

Débit instantané et volume de bâchée sont reliés : plus le volume de la bâchée est réduit, plus le débit instantané doit être élevé pour "mouiller" toute la surface du filtre alimenté en un temps court. Le constructeur devra justifier la pertinence de son alimentation et de sa distribution.

Un système de vannage manuel ou automatique doit assurer l'alternance des phases d'alimentation et de repos de chaque lit constituant les filtres du premier étage. Il doit être placé en aval du dispositif d'alimentation par bâchées

Des dispositifs de comptage doivent permettre d'évaluer les débits et volumes injectés. En système gravitaire, un compteur de bâchées peut déjà donner une indication. En relèvement, le temps de fonctionnement des pompes est plus fiable lorsqu'elles sont correctement étalonnées dans leurs conditions réelles de fonctionnement.

B. Alimentation gravitaire

L'alimentation gravitaire avec des eaux brutes implique :

- l'absence de conduites et de clapets de petit diamètre qui peuvent être obstrués par les matières solides et les graisses,
- la nécessité de pouvoir vider intégralement le réservoir de stockage des bâchées avec une vitesse suffisante pour entraîner les matières en suspension.

Les dispositifs mécaniques qui existent sont :

- le siphon auto-amorçant,
- la chasse à clapet,
- la chasse pendulaire.

Ces dispositifs se distinguent par les débits instantanés qu'ils peuvent délivrer (calculés en fonction des pertes de charges dans le dispositif aval de répartition) et la constance des débits lors de la vidange du réservoir et en particulier en fin de fonctionnement. On veillera à la fiabilité de ces dispositifs. Le débit doit être réellement nul entre 2 bâchées et, lors d'une bâchée, la vidange doit être complète pour éviter l'accumulation des matières en suspension. Parmi ces différents types de dispositif d'alimentation, les siphons auto-amorçant ont prouvé sur le terrain leur bonne capacité à fonctionner avec des eaux usées brutes sans risque de colmatage.

C. Alimentation par un poste de relevage

Les pompes et les canalisations sont adaptées au fluide qu'elles transportent. Le diamètre nominal minimum des pompes et canalisations est le DN80. Des diamètres inférieurs sont possibles en l'absence de risque de bouchage (minimum DN60).

Le projeteur veillera particulièrement à prévoir les dispositifs de sécurité protégeant les pompes en cas de coup de bélier, d'absence de fluide, d'une surpression et de l'arrêt du débit lié à un bouchage. On veillera naturellement à l'isolation thermique des canalisations en cas de gel. Les problèmes de maintenance seront intégrés lors de la conception.

L'utilisation de dispositifs électromécaniques est possible. Des électrovannes, des automates, etc. peuvent utilement compléter les systèmes de pompage.

Le poste de refoulement fait office de système d'alimentation par bâchées. L'utilisation de pompes dilacératrices présente l'inconvénient d'introduire des objets plastiques inertes dans les boues.

Le débit de pompage doit être le plus indépendant possible du niveau dans la bêche de pompage

Il est souhaitable de mettre en place des compteurs horaires.

Le poste de relevage est équipé d'au moins deux pompes, chacune étant dimensionnée sur le débit de la bâchée. En cas de défaillance d'une des pompes, l'autre doit pouvoir fonctionner en secours.

Une ventilation efficace de la bâche de pompage est à étudier pour éviter l'accumulation d'hydrogène sulfuré (H₂S) en milieu confiné.

Le radier du poste est profilé pour favoriser la reprise des dépôts.

I.7.3. La répartition des eaux brutes sur le premier étage

La répartition de l'effluent doit se faire de telle manière qu'elle intéresse l'ensemble de la surface du lit filtrant pour chaque bâchée et d'une manière homogène.

Le réseau alimentant les points de distribution doit être conçu de manière à pouvoir se vider entièrement et exclure ainsi tout risque de stagnation des eaux (dépôt de MES, développement d'odeurs et possibilité de gel). L'ensemble des dispositifs devra être inspectable et curable.

Etant donné qu'il s'agit de la répartition des eaux chargées en matières en suspension, le système de répartition doit fonctionner à tous points avec une vitesse d'auto-curage. L'eau brute doit circuler au minimum à 0,6 m/s.

Un certain nombre de dispositifs de répartition sont actuellement utilisés pour l'alimentation des premiers étages avec des eaux brutes :

Goulotte de répartition à débordement : Système utilisé pour les dispositifs d'épuration par infiltration-percolation. Celui-ci nécessite un fort débit de bâchée. C'est un système adapté aux petites surfaces ($S < 50 \text{ m}^2$). Il y a un risque d'accumulation des matières en suspension à proximité de la goulotte.

Diffuseurs ponctuels : Ce système est intéressant, si le nombre de points d'alimentation est suffisamment élevé et qu'ils sont distribués de façon rigoureusement symétrique pour assurer une répartition homogène (à calculer en fonction de la lame d'eau et de la surface du lit à alimenter). Le projecteur doit s'assurer de l'homogénéité de la répartition des débits et du risque de décantation.

Il faut envisager au minimum un point de répartition pour environ 50 m² de surface.

Des dispositifs anti-affouillement comme des plaques résistant à l'érosion ou des gabions doivent être prévus au niveau des diffuseurs ponctuels.

Pour faciliter l'enlèvement des dépôts lorsque leur hauteur nuit au fonctionnement des filtres, le démontage temporaire des diffuseurs peut constituer un atout appréciable.

I.7.4. L'alimentation du deuxième étage avec des eaux traitées

Le deuxième étage est alimenté avec des eaux sortant d'un premier étage de filtres plantés. Les règles de conception, en termes de volumes et débits instantanés, sont globalement celles de l'alimentation du premier étage avec des eaux brutes.

I.7.5. La répartition des eaux traitées sur le deuxième étage

Comme pour le premier étage, la répartition de l'effluent doit se faire de telle manière qu'elle intéresse l'ensemble de la surface du lit filtrant pour chaque bâchée et d'une manière homogène. Au regard de la faible concentration de matières en suspension dans les eaux alimentant le second étage et en dépit de l'utilisation de sable pour ralentir la vitesse d'infiltration, le nombre de points d'alimentation de cet étage doit être considérablement plus élevé que pour les filtres du premier étage.

Un **réseau superficiel de tuyaux percés d'orifices non-enterrés** peut apporter une diffusion homogène de l'effluent pour une eau partiellement épurée. Il est nécessaire que les tuyaux fonctionnent en charge et avec une pression suffisante afin de compenser les différences de pertes de charge entre les orifices les plus proches et les plus éloignés du point principal d'alimentation.

Il est conseillé de ne pas enterrer les tuyaux d'alimentation percés d'orifices en raison du risque d'obstruction des orifices par les racines et les rhizomes des roseaux.

Diffuseurs ponctuels : ce système est envisageable si le nombre de points d'alimentation est suffisamment élevé et que le débit à chaque diffuseur est suffisant pour assurer une répartition homogène. Il faut envisager au moins 1 point de répartition par 5 m² de surface.

Les **dispositifs de distribution par sprinklers** sont incompatibles avec le développement des roseaux qui risquerait d'en bloquer la rotation.

La pertinence des choix des différents éléments doit être justifiée par une note de calcul, voire par une application informatique adaptée.



Figures 5 : Vue d'un réseau superficiel de tuyaux percés d'orifices.

I.7.6. Les lits

A. Les dimensions

La pratique actuelle est de déterminer la **surface totale** des filtres plantés en fonction du nombre d'habitants raccordés plutôt qu'en fonction de flux de DBO et DCO. Le volume journalier à traiter ne rentre pas en ligne de compte. En effet des travaux récents (Molle, 2003) ont permis de quantifier la capacité hydraulique des ouvrages.

Comme signalé en I.1., le **nombre** de lits en parallèle est déterminé par le rapport «temps d'alimentation/temps de repos» que l'on gère par la rotation de l'alimentation des lits. Le premier étage est généralement constitué de 3 lits, le deuxième de 2 lits seulement.

Les règles de base habituelles du dimensionnement sont données dans le tableau ci-dessous :

Surface utile totale	2 à 2,5 m ² /habitant
dont premier étage (3 lits en parallèle)	1,2 à 1,5 m ² /habitant
dont deuxième étage (2 lits en parallèle)	0,8 à 1,0 m ² /habitant

Les dimensionnements mentionnés ci-dessus s'appliquent à des **populations permanentes**. Ils ont été établis pour que les performances soient atteintes en saison hivernale moins favorable à l'activité biologique.

Les performances obtenues sur la station de Roussillon (84) prouvent qu'en été, une charge significativement plus élevée peut être convenablement traitée avec des surfaces utiles totales d'environ 1 m² par habitant. Ainsi une station d'épuration dimensionnée classiquement peut convenir pour traiter la **population estivale** dans la mesure où la surface spécifique des filtres pour cette période est d'au moins 1m² par habitant. La charge estivale est appréciée de préférence par des mesures.

Par temps sec, ces règles conduisent à admettre sur le filtre en fonctionnement une lame d'eau de 30 cm/jour. Néanmoins avec ce dimensionnement, il s'avère possible par temps de pluie d'admettre des lames d'eau diluée nettement supérieures. Les recommandations formulées suite aux travaux de Molle déjà cités, définissent, en fonction de la hauteur de dépôt accumulé, les lames d'eau journalières et horaires admissibles pour des occurrences hebdomadaires ou mensuelles. Elles nécessitent toutefois confirmation sur un plus grand nombre d'installations.

Lame d'eau admissible	m/jour si fréquence et m/heure	Couche de dépôts 0 – 10 cm		Couche de dépôts 10 – 25 cm	
		1 fois/semaine	1 fois/mois	1 fois/semaine	1 fois/mois
		1,8	3,5	0,9	1,8
		0,25		0,11	

Une revanche de 30 cm minimum est à prévoir au premier étage pour tenir compte d'une hauteur de stockage de boue à terme de 20 cm et permettre une mise en charge de la surface du lit sans risque de débordement sur les filtres adjacents.

Dans le cas de réseaux non-séparatifs ou partiellement unitaires, une hauteur supplémentaire est à prévoir en fonction de l'intensité et de la durée de l'événement pluvieux dont on souhaite conserver et traiter le débit. Une hauteur de revanche de 50 cm au premier étage semble un bon compromis dans cette configuration. Dans ce cas, dans l'hypothèse d'une baisse anormale de perméabilité, un by-pass en surface des lits doit être prévu pour éviter des périodes trop longues de submersion des filtres.

Les cloisons de délimitation des lits au sein d'un même bassin doivent être enfouies sur une profondeur minimum de 30 cm. Elles doivent être en matériaux rigides et résistants aux UV.

B. Les matériaux

Il faut distinguer les matériaux gravillonnaires du premier étage et le sable qui sera utilisé en surface du second étage. Il est vraisemblable que les matériaux alluvionnaires (roulés) soient meilleurs pour les 2 étages, mais pour les graviers du premier étage et ceux de la couche sous le sable du second étage, l'utilisation de matériaux concassés n'a pas présenté d'inconvénients appréciés ou mesurés jusqu'à présent.

En revanche, pour les sables, en l'état actuel des connaissances, il est préférable de prendre des matériaux roulés.

Quelles que soient les granulométries de ces matériaux (sable, gravier), ils doivent être lavés et posséder une teneur en fines ($D < 80 \mu\text{m}$) inférieure à 3 % en masse.

Pour l'assemblage des couches, on pourra observer les règles de **TERZAGHI** afin d'éviter le mélange des couches et la migration des particules. Ces règles définissent les conditions de transition granulométrique. Elles ont été élaborées pour les revêtements routiers soumis à des contraintes très différentes de tassement. Elles sont aussi utilisées pour le drainage des barrages de retenus collinaires (cf. bibliographie : Petits barrages : recommandations pour la conception, la réalisation et le suivi. Gérard Degoutte. Cemagref Editions)

Le constructeur devra justifier ses choix de granulométrie des différents matériaux.

Le **premier étage** des filtres verticaux sera constitué de 3 couches de gravier :

☛ **Couche filtrante :**

gravier fin de 2 à 8 mm
épaisseur 30 cm minimum

☛ **Couche de transition :**

granulométrie adaptée de 3 à 20 mm
épaisseur de 10 à 20 cm

☛ **Couche drainante :**

granulométrie adaptée de 20 à 60 mm
épaisseur de 10 à 20 cm

L'épaisseur de la première couche de 30 cm sera à augmenter en fonction des objectifs épuratoires.

Les matériaux de la couche supérieure du **deuxième étage** seront sableux. Elle a comme fonction la rétention des matières en suspension. Lorsqu'il y a un objectif fort de nitrification, une couche supplémentaire de 30 cm de gravier fin (2 à 8 mm) peut être mise en place.

La composition du sable doit être essentiellement siliceuse et son origine alluvionnaire. Les risques de colmatage induits par l'utilisation de sables concassés, même débarrassés de leurs fines [$D \leq 80 \mu\text{m}$], ne sont pas suffisamment actuellement pour préconiser leur utilisation.

Les recommandations résumées ci-après doivent donc être suivies.

La composition du deuxième étage est la suivante :

☛ **Couche filtrante :**

- sable alluvionnaire siliceux
- $0,25 \text{ mm} < d_{10} < 0,40 \text{ mm}$
- $CU \leq 5$ (sable plus homogène que dans une précédente recommandation du Cemagref Liénard et al., 2000)
- teneur en fines $< 3 \%$ en masse
- épaisseur 30 à 60 cm minimum (en fonction de l'objectif de traitement)

Concernant la teneur limite en calcaire, en l'état actuel des connaissances encore insuffisantes, il est difficile d'en prescrire des limites strictes. Les sables très majoritairement siliceux sont préférables car a priori moins attaquables lors de l'acidification des eaux qui résulte naturellement de la nitrification. On veillera donc à ce que la teneur en calcaire n'excède pas 20 % en masse (exprimée en CaCO_3).

☛ **Couche de transition :**

granulométrie adaptée de 5 à 10 mm
épaisseur de 10 à 20 cm

☛ **Couche drainante :**

Granulométrie adaptée de 20 à 40 mm
Epaisseur de 10 à 20 cm

où : CU Coefficient d'uniformité (d_{60}/d_{10})
d₁₀ Diamètre laissant passer 10 % de la masse d'un sable, en mm
d₆₀ Diamètre laissant passer 60 % de la masse d'un sable, en mm

I.7.7. L'évacuation de l'eau

Des drains en tubes synthétiques entaillés de fentes (\varnothing 100 mm minimum) seront utilisés pour collecter l'effluent traité sur le fond du filtre. L'utilisation de tubes de classe de résistance élevée limitera les risques de détérioration du système de drainage. On évitera l'utilisation de coudes à angle droit.

Des pentes doivent être prévues au fond du bassin de part et d'autre des drains de collecte afin d'éviter les zones de stagnation.

Les orifices (fentes de 5 mm de largeur sur un tiers de la circonférence, espacées d'environ 15 cm) seront tournés vers le bas. On interdira l'utilisation de drains agricoles d'une centaine de mm dont les trous sont trop petits.

On reliera l'extrémité des drains à l'atmosphère par des tubes étanches et événements couverts de chapeaux pour éviter la chute d'objets dans les conduits d'aération et les drains. Tubes et événements doivent bien sûr avoir des diamètres comparables et compatibles avec ceux des drains.

Les drains doivent être inspectables et curables.

I.7.8. L'évacuation des boues

L'évacuation des boues du premier étage des filtres verticaux se fait à une périodicité d'environ une fois tous les 10 - 15 ans. Ces boues sont fortement minéralisées et ne sont donc pas fermentescibles comme celles d'autres procédés.

Elle peut être réalisée à l'aide d'un tracto-pelle équipé d'un godet de curage de fossés avec une lame relativement tranchante (ou une pelleteuse à chenilles pour les lits plus grands). Ces engins pourront accéder à la périphérie des lits. Un accès à l'intérieur des lits induira un compactage du milieu matière organique-gravier qui nuira fortement à l'aération et à l'hydraulique du système par la suite. Dans tous les cas, il faut prévoir des espaces de circulation suffisamment larges pour accueillir les engins qui évacueront les boues (tracteur avec benne ou camion, en fonction des distances d'accès aux parcelles d'épandage entrevues).

Ces contraintes d'accès peuvent conditionner les surfaces unitaires des lits. Les rampes d'alimentation doivent pouvoir être enlevées, si nécessaire, lors de cette opération.

I.8. LES FILTRES A ECOULEMENT HORIZONTAL

I.8.1. Prétraitement

Le paragraphe § II.4.1 concernant les filtres à écoulement vertical s'applique aussi au filtres à écoulement horizontal et le dégrillage est le seul prétraitement nécessaire.

I.8.2. Traitement primaire

Dans le cas des lits à écoulement horizontal, le traitement primaire a pour objectif d'éviter le colmatage du filtre. L'alimentation de tels lits par un effluent brut conduirait rapidement à un colmatage du filtre par les MES de l'effluent brut qui s'accumuleraient en premier lieu sous forme de boues dans la tranchée d'alimentation et qui ne pourraient être enlevées sans nuire à l'intégrité du système.

Ce traitement pourra se réaliser de deux façons :

- Grâce à un étage de lits plantés à écoulement vertical. Les filtres plantés à écoulement vertical en 1^{er} étage alimentés en eaux usées brutes constituent une solution préférable car permettant à la fois la filtration et la minéralisation des boues, et contribuant également à l'amélioration du traitement secondaire.
- Par un décanteur/digesteur vertical, voire par une fosse toutes eaux (ces ouvrages seront bien sûr dimensionnés selon les règles de l'art). La présence d'un décanteur et, a fortiori celle d'une fosse toutes eaux, peut entraîner des risques de septicité de l'effluent qu'il faudra prendre en compte lors de la conception (corrosion, ...). Il faut également être vigilant à la localisation de la station par rapport au voisinage et aux vents dominants. On note que la présence d'un dispositif de décantation primaire conduit à une production de boue qui demande la mise en place d'une gestion appropriée.

Dans tous les cas, l'installation d'un tel ouvrage nécessite la bonne maîtrise des débits.

La mise en place d'un ouvrage de type pré-filtre est également utile pour prévenir les départs intempestifs de boue.

Pour des réseaux unitaires afin d'éviter une prise en masse des boues, il faut interposer un dessableur.

Les décanteurs-digesteurs horizontaux qui ne permettent pas une séparation convenable des compartiments décantation et digestion. L'accumulation et la reprise des boues dans les ouvrages horizontaux est de surcroît, souvent problématique. L'installation de tel ouvrage est à exclure.

I.8.3. L'alimentation

L'alimentation d'un lit à flux horizontal est normalement continue. On peut envisager d'utiliser des moyens d'alimentation discontinue (alimentation par bâchées) gravitaire ou par poste de relevage. Ils seront à préférer dans le cas de lits de grande largeur avec une alimentation en plusieurs points.

Lorsque des lits horizontaux sont installés en parallèle, un répartiteur, placé en aval du décanteur, permet d'avoir une modulation du débit dans chaque lit.

I.8.4. La répartition

Le rôle du répartiteur est d'apporter le flux d'une manière homogène sur l'ensemble de la tranche intéressée par l'écoulement. L'homogénéité de la couche de matériaux, conditionne pour beaucoup l'écoulement et son équi-répartition.

L'ensemble des dispositifs d'alimentation et de répartition devra être inspectable et curable.

On peut envisager plusieurs cas :

- **La tranchée (cas a)** est un caniveau légèrement en charge par rapport au niveau d'eau dans le lit et distribue l'effluent à travers un gabion de répartition.
- **Une rampe d'alimentation (cas b)** placée sur la tranche de bassin avec une multitude de points d'alimentation afin que la répartition sur l'ensemble de la tranche transversale soit la plus homogène possible. Il faudra cependant éviter d'enterrer les rampes d'alimentation à cause du colmatage possible par les rhizomes.

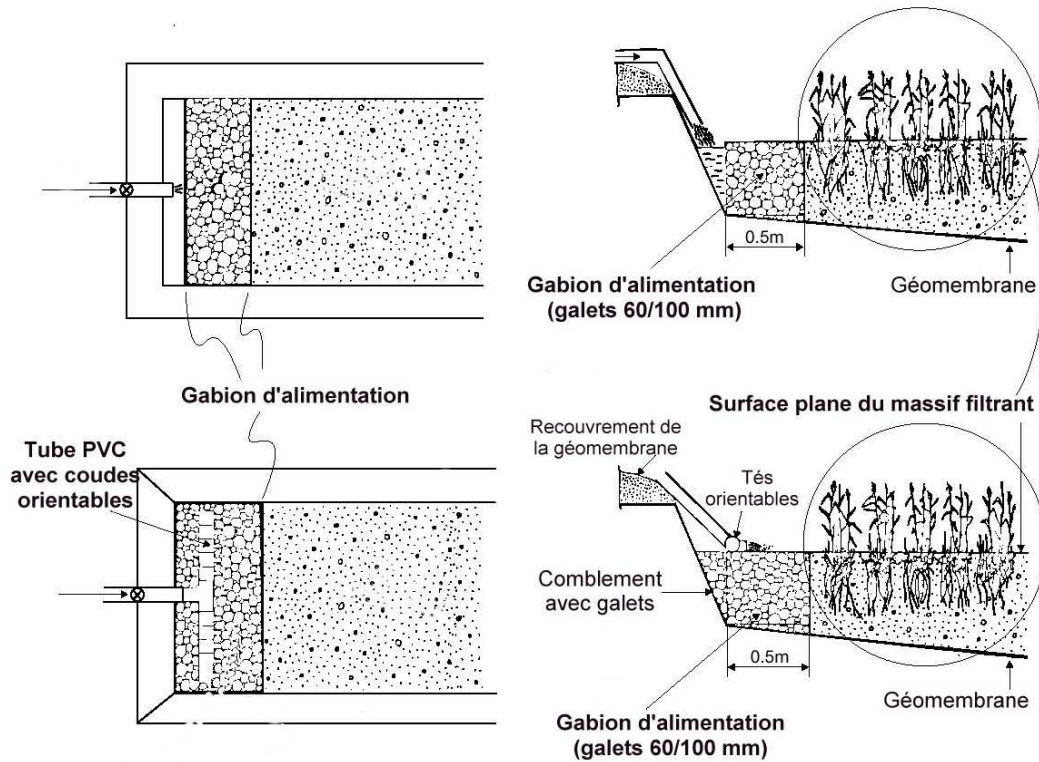


Figure 6 : Deux cas possibles d'alimentation d'un lit à flux horizontal : (cas a) en haut et (cas b) en bas. (d'après EPA, 2000)

I.8.5. Les lits

A. Le dimensionnement

a) Détermination de la surface du lit

La **surface (S)** des lits est fonction de la charge à traiter. La démarche d'origine consiste à définir une surface nécessaire dépendante des concentrations initiales (C_{in}) et de rejet (C_{out}), du débit journalier à traiter (Q), et en acceptant une vitesse de dégradation du substrat du premier ordre (assimilation du lit à un réacteur piston) avec une constante (K) de dégradation à une température (T). K dépend du paramètre polluant (DCO, MES ...) à abattre, de la température et de la porosité du matériau.

On peut alors écrire :

$$\frac{C_{out}}{C_{in}} = \exp\left(-\frac{KS}{Q}\right)$$

soit :

$$S = \frac{Q \times \ln\left(\frac{C_{in}}{C_{out}}\right)}{K}$$

Devant les incertitudes qui existent pour déterminer les valeurs des constantes, en raison des différences à la fois des caractéristiques physiques et écologiques des marais ainsi que les caractéristiques de l'effluent (influence de la profondeur du lit, de la pente, du dispositif d'entrée et de sortie du lit, du type de végétation, ...), une approche empirique a conduit à dimensionner les surfaces selon un ratio « surface par habitant raccordé ».

On retiendra, pour les deux types de traitement primaire courants, les valeurs suivantes qui ont été déterminées de façon empirique :

Traitement primaire	Surface spécifique du lit horizontal par habitant
Filtres à écoulement vertical	2 – 3 m ² /habitant
Décanteur	5 m ² /habitant

b) Détermination de la géométrie du lit à partir d'une approche basée sur la perméabilité des matériaux

Dès lors que la surface du lit à écoulement horizontal est déterminée, sa géométrie est essentiellement basée sur la perméabilité des matériaux de garnissage. Fonctionnant en milieu saturé, cette perméabilité peut être approchée par la perméabilité des matériaux K_s , elle-même élaborée à partir de la loi de Darcy.

L'équation qui symbolise cette approche est la suivante :

$$Q = A * K_s * (dH/dL)$$

où :

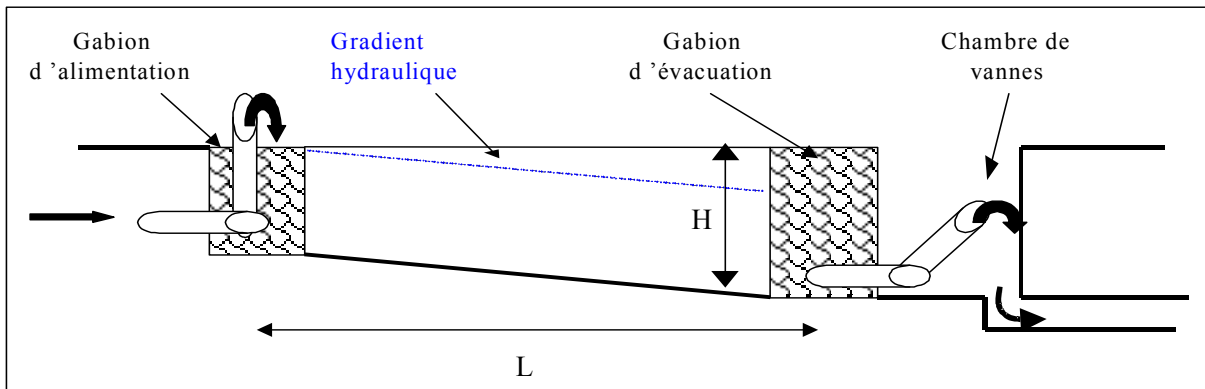
Q = débit journalier exprimé en m^3/s (débit maximum journaliers susceptibles d'être reçus, pour mémoire),

A = $H * l$, l'aire de la section transversale du lit en m^2 (H = Hauteur d'eau dans le filtre et l = largeur),

K_s = conductivité hydraulique à saturation du matériau vierge (m/s),

dH/dL = gradient hydraulique (m/m), utilisé pour la conception, correspondant à la pente de la ligne d'eau à obtenir en fonctionnement : depuis la surface du filtre au niveau de l'entrée, jusqu'à environ 10cm de la hauteur totale au niveau de la sortie.

En effet, une évacuation de l'eau en zone haute de la sortie du filtre est recherchée dans le but de permettre le noyage d'une plus grande quantité de matériaux.



Etant donné le faible nombre de références de lits à écoulement horizontal en France, les données influençant directement la géométrie du lit : profondeur, longueur et pente du fond sont également reprises d'expériences étrangères (IWA, 2000 – EPA, 2000).

La **profondeur** maximale des lits pourra être de 0.6 m. Elle correspond à la profondeur atteinte par les rhizomes des roseaux en milieu saturé (étant donné qu'ils n'ont pas à aller chercher plus profondément l'eau nécessaire à leur développement). L'IWA (2000) conseille une valeur comprise entre 45 et 60 cm. En fait, on pourra retenir une profondeur de matériaux de 0.6 m sachant que le niveau de l'eau est ajustable en sortie. La surface du massif doit être plane.

Une **pente du fond** est recommandée pour pouvoir, le cas échéant, vider l'eau du lit. L'IWA (2000) recommande de choisir une dénivelée entre l'amont et l'aval du fond du bassin équivalente à environ 10% de la profondeur : une différence de 6 cm entre les niveaux bas du gabion d'alimentation et du gabion d'évacuation peut donc être considérée comme raisonnable pour des ouvrages longs d'une quinzaine de mètres. Dans tous les cas, la pente du fond doit être supérieure à 0.5%.

Les **valeurs de K_s** utilisées pour dimensionner sont des ordres de grandeur de la perméabilité en fonctionnement des matériaux. Cette perméabilité est essentiellement liée à la granulométrie des matériaux et évolue avec le colmatage progressif du massif. On peut penser que l'effet de colmatage par des matières en suspension et par la biomasse qui se développe dans le massif est en partie modéré par l'effet décolmatant des rhizomes et racines. Par

exemple pour un gravillon autour des 5mm, dont la perméabilité initiale est de l'ordre de 10^{-2}m.s^{-1} , on pourra retenir une valeur de l'ordre de $5.10^{-3} \text{m.s}^{-1}$ en fonctionnement.

Pour information, les sables dont les caractéristiques sont citées en I.7.6.B. ont une perméabilité initiale de l'ordre de $5.10^{-4} \text{m.s}^{-1}$, et un gravier roulé de 20 à 30 mm de 1m.s^{-1} .

Détermination de la **géométrie du bassin** par calcul itératif :

- Sur la base de l'équation précédente, on calcule la section transversale A avec une première valeur du gradient hydraulique $(dH/dL)_1$. La connaissance de la profondeur (0.6 m) permet alors de déterminer une **largeur I_1** . On déduit alors une **longueur L_1** à partir de la valeur de la surface horizontale S. On peut alors déterminer la hauteur de sortie de l'effluent $H_1 = (dH/dL)_1 * L_1$.
- On réitère alors ce calcul en faisant varier les valeurs de (dH/dL) jusqu'à obtenir un niveau de d'eau en sortie à environ 10cm de la surface du massif.

c) Finalisation de la conception du lit

Après avoir défini la largeur de la section transversale compatible avec le débit à traiter, il faut s'assurer que ce dernier pourra être correctement distribué au niveau du gabion d'alimentation par les dispositifs présentés en II.5.4.

Si la largeur de la section transversale est trop importante pour garantir une équi-répartition, il faudra envisager de scinder le lit en 2 parties, par exemple.

B. Les matériaux

En l'absence de position claire en France où, rappelons-le, l'expérience des lits à écoulement horizontal est faible, on pourra retenir les valeurs données par la norme autrichienne ÖNORM B 2505 qui propose d'utiliser une granulométrie de 4 à 8 mm lorsque le lit reçoit des eaux simplement décantées. Pour un lit installé en complément de traitement à l'aval de filtres à écoulement vertical, on pourra utiliser une granulométrie plus fine (1 à 4 mm par exemple). Des granulométries allant jusqu'à 6-12 mm peuvent être envisagées dans certains cas.

Même en suivant ces recommandations, l'attention du concepteur est attirée sur la difficulté inhérente à la mise en place de matériau comprenant trop de fines. C'est particulièrement vrai pour un lit horizontal dans lequel elles ne pourront être lessivées. Le colmatage ne trouve pas de solution vraiment efficace ; un ouvrage colmaté l'est donc irréversiblement. Par conséquent, les matériaux doivent être lavés.

En l'état actuel des connaissances, le concepteur proposant une solution basée sur une utilisation, même partielle, de sable fin (d_{10} autour de 0.2mm) devrait en apporter la justification sur la base de :

- Mesures de granulométries, indice de propreté ou teneur en fines, et perméabilité du matériau vierge,
- Références bibliographiques des caractéristiques du matériau (perméabilité, constante de dégradation),
- Liste de références de stations permettant d'estimer d'une part la constante de dégradation et d'autre part l'évolution de la perméabilité du matériau.

Il est souligné que la valeur d'une liste de référence est d'autant meilleure que les stations citées fonctionnent correctement avec au moins 50 % de leur charge organique et 80 % de leur charge hydraulique nominales.

C. L'évacuation

Les dispositifs d'évacuation doivent permettre de caler la ligne d'eau dans le massif filtrant à partir de 5 cm sous le niveau des matériaux de garnissage. Il conviendra d'ajuster le niveau de sortie selon les circonstances (pointes hydrauliques, fort vieillissement de la perméabilité) pour éviter des écoulements superficiels.

A l'inverse, on s'assurera que le niveau de l'eau est compatible avec le développement des plantes.

Des drains en tubes synthétiques (diamètre 100 mm minimum) seront utilisés pour collecter l'effluent traité dans la gabion d'évacuation ou une tranchée drainante remplie des granulats grossiers (60 à 80 mm) sur toute la largeur du lit. La Figure 8 présente une vue en coupe d'un dispositif de collecte avec manchon sur coude rotatif, un tuyau souple accroché à différentes hauteurs peut le remplacer.

Des drains agricoles peuvent être utilisés mais ils doivent être curables et inspectables et donc d'un diamètre sensiblement supérieur à 100 mm en raison de leurs parois internes et externes annelées.

On évitera donc aussi les coudes à angle droit et on proscrira la mise en place de tout géotextile sur les faces internes des gabions.

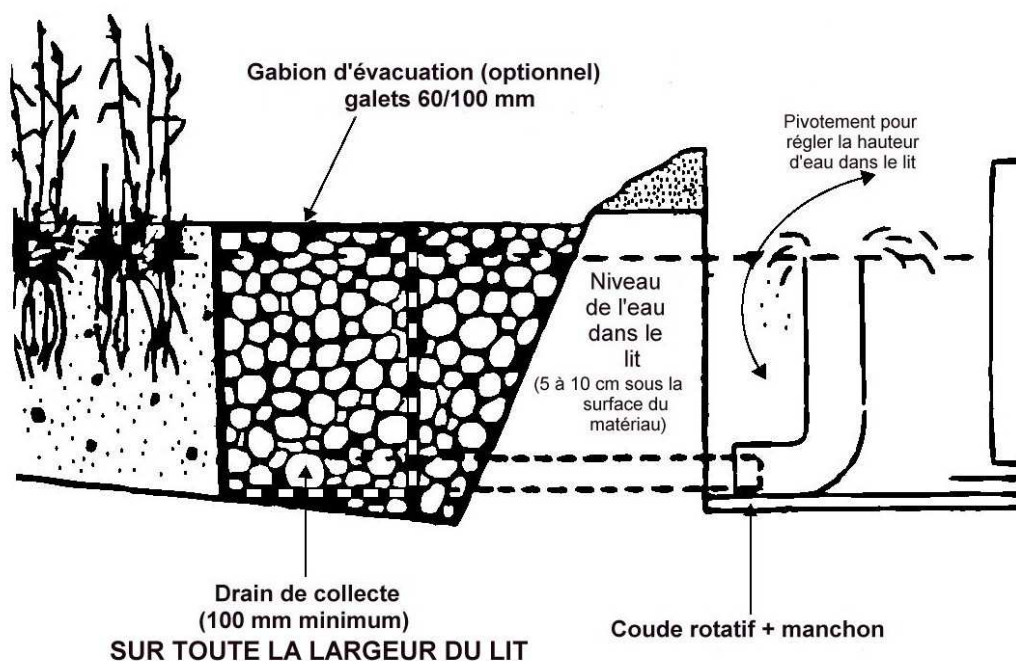


Figure 7 : Dispositif d'évacuation en sortie de lits plantés à flux horizontal, d'après EPA, 2000.

LA REALISATION

I.9. DES DOCUMENTS

Les justificatifs à fournir par le constructeur sont listés de manière non exhaustive dans le tableau ci-dessous.

Caractéristiques des matériaux et leur provenance, ainsi qu'un schéma de mise en œuvre des couches :	<p>Pour le sable : fuseau granulométrique, d_{10}, CU, teneurs en calcaire, argile et fines, coefficient de perméabilité (K en m/s).</p> <p>Pour les graviers : granulométrie, teneur en fines.</p> <p>Pour les géomembranes : épaisseur, résistance.</p> <p>Pour les géotextiles anti-poinçonnement : résistance à la traction, allongement à l'effort maximum, résistance au poinçonnement.</p>
Les manuels de maintenance et de fonctionnement (les modes opératoires notamment en cas de dysfonctionnements) :	<p>Pour les paniers dégrilleurs des postes de pompage : les conditions de relevage et de nettoyage.</p> <p>Pour les ouvrages de traitement primaire : la production de boues, le taux de remplissage à partir duquel la vidange doit être effectuée, les conditions de reprise des boues.</p> <p>Pour tous les équipements et ouvrages : l'adéquation de leurs caractéristiques au projet et le respect des contraintes de pose et d'emploi.</p>
Les calculs techniques et hydrauliques notamment des divers étages biologiques.	<p>En particulier, (en plus des caractères classiques de dimensionnement, nombre d'habitants, débit de pointe,...), elle doit préciser la conception des organes suivants:</p> <ul style="list-style-type: none">- bassins- dispositif(s) d'alimentation- dispositif(s) de distribution- autres organes afférent au fonctionnement de la station
Calcul et présentation des coûts :	<p>Coût de construction</p> <p>Coûts opérationnels (coûts d'exploitation estimés sur une dizaine d'années, y compris évacuation des boues)</p>

I.10. DES RECOMMANDATIONS TECHNIQUES

I.10.1. L'étanchéité

D'une manière générale, lorsque l'étanchéité des ouvrages n'est pas réalisée artificiellement (par une géomembrane), une étude de sol doit être systématiquement réalisée.

Les bassins en pleine terre du type lagunage doivent être étanches à l'eau selon un facteur de perméabilité K_s de 10^{-8} m.s^{-1} sur une profondeur de sol de 0.3 m.

Les filtres **verticaux**, caractérisés par un fonctionnement en conditions non saturées et alimentés par bâchées ont une emprise au sol moindre que celle des bassins d'un lagunage naturel. Il apparaît donc logique de requérir une étanchéité moindre que celle des bassins toujours en eau de type lagunage.

Toutefois, il convient de moduler cette position en fonction de l'étage de traitement et, le cas échéant, à la possibilité utilisée par certains concepteurs, de stocker temporairement les eaux dans la couche drainante des filtres du 1^{er} étage, pour alimenter le siphon des filtres du 2^{ème} étage.

Les recommandations adaptées sont donc :

- $K_s \leq 10^{-8} \text{ m.s}^{-1}$, pour les filtres du 1^{er} étage équipés d'un stockage d'effluents dans la couche drainante,
- $K_s \leq 10^{-6} \text{ m.s}^{-1}$, pour les filtres du 1^{er} étage non équipés d'un stockage d'eau et ceux du 2^{ème} étage.

Il est rappelé que l'infiltration des eaux traitées sous le deuxième étage peut être intéressante. La suppression du rejet superficiel dans un milieu particulièrement sensible permet de protéger celui-ci notamment vis-à-vis d'une pollution d'origine microbiologique. Sa faisabilité est à déterminer par une étude géotechnique et le risque de pollution des eaux souterraines est à apprécier par une étude hydrogéologique. Par ailleurs, un dispositif d'échantillonnage représentatif de la qualité globale du rejet doit être mis en place au niveau de la couche drainante (cf. II.4.6.) qui assure l'interface avec le sol en place.

Les contraintes d'étanchéification des filtres **horizontaux** sont plus importantes que celles des filtres verticaux du fait de la charge hydraulique continue du lit (*indispensable au fonctionnement de l'ouvrage*) et de la surface utile supérieure.

Par conséquent, lorsqu'un filtre à écoulement horizontal est réalisé sur sol en place, ce dernier doit avoir, le cas échéant après compactage, une perméabilité *inférieure* à 10^{-8} m.s^{-1} .

Lorsque l'étanchéité à l'eau est assurée par le compactage du sol, les conditions de compactage optimales (pression de compactage et teneur en eau, par exemple) doivent être évaluées par des essais préliminaires. L'épaisseur du sol compacté est d'au moins 30 cm. L'étanchéité à l'eau doit être testée dans chaque lit sur le site après remplissage à l'eau.

Lorsque l'étanchéité à l'eau est assurée par un système de revêtement synthétique, le revêtement doit être opaque, résistant à l'usure par frottement et résistant aux ultraviolets. Il doit également assurer une résistance suffisante contre le poinçonnement par les rhizomes des roseaux.

Le choix du revêtement synthétique doit prendre en compte les risques de poinçonnement par les engins et les granulats lors de la phase de réalisation.

Un géotextile doit protéger la géomembrane contre le poinçonnement par les matériaux aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur du filtre.

Le Comité Français des Géotextiles et Géomembranes a émis des recommandations importantes à ce sujet. Les épaisseurs minimales des géomembranes sont fonction de leur constituant de base. Elles sont de 1 mm pour le PVC et le PP (Polypropylène), 1,5 mm pour le PEHD, 1,14 mm pour l'EPDM et 3 mm pour le bitume (recommandations du CFG). Les matériaux dont l'épaisseur est inférieure à 1 mm ne sont donc pas acceptables.

Les tests d'étanchéité doivent être réalisés **après la mise en place des matériaux**, mais pour le constructeur il sera prudent de réaliser ces tests **également avant leur mise en place**.

Lorsque des étanchéités fortes sont requises, la vérification doit s'opérer sur un laps de temps suffisamment long et les bassins doivent être mis en charge par l'utilisation de réhausses calant le niveau d'eau à la côte maximale susceptible d'être atteinte en fonctionnement.

En cas de montée de la nappe phréatique, des mesures doivent être prises, pour protéger l'étanchéité à l'eau de l'ouvrage.

I.10.2. Le garnissage des lits

Le choix des matériaux s'opère en deux temps :

- Sélection à partir des informations demandées aux carrières : granulométrie, teneurs en fines, minéralogie (teneur en calcaire),
- Vérification sur le chantier de la conformité de la livraison par rapport aux matériaux définis dans la carrière sélectionnée, sur la base de mesures de granulométrie et de propreté. Des tests de perméabilité peuvent également être réalisés (Liénard et al., 2000).

Pour la mise en place des graviers, il n'y a pas de précautions particulières à prendre dès lors qu'ils sont bien lavés et repris sans mélange avec le sol lorsqu'ils sont stockés sur le site. Lors de l'utilisation, dans un but particulier de traitement, de matériaux spécifiques sensibles à l'abrasion, il faudra les disposer avec précaution pour ne pas produire de fines. Si la mise en place d'un matériau ne peut être évitée sans produire de fines, son utilisation doit être proscrite.

Pour la mise en place des sables, on recommande une confection de couches successives de 15 à 20 cm pour limiter les problèmes de ségrégation.

Toute précaution devra être prise lors de la circulation des engins à chenilles (exclusivement) pour ne pas endommager les géomembranes et drains.

Le bon garnissage des lits conditionne le comportement hydraulique ultérieur du filtre.

I.10.3. La plantation des macrophytes

Les macrophytes peuvent être plantés en toute saison sauf en période de gel ou de grande chaleur. On plantera préférentiellement en France entre Mars et Septembre.

Une densité minimale de 4 plants/m² doit être respectée.

On peut aussi mettre en place des rhizomes (2 noeuds) seuls à raison de 5 par m².

On peut, pour le premier étage des filtres verticaux, adapter la surface plantée au taux de raccordement de la station et au volume journalier d'alimentation. En effet les eaux usées ne couvriront pas l'ensemble de la surface des filtres dès leur mise en service notamment en cas de sous charge initiale. Les roseaux plantés au bord des filtres se développeront donc mal. La plantation sur la seule zone humidifiée suffit. Les autres zones seront envahies par les rhizomes à fur et à mesure que les débits d'eau usée augmentent et que les surfaces humidifiées s'étendent.

Sur le deuxième étage, grâce à la capillarité du sable, les conditions de développement des roseaux sont dès la mise en service favorables sur l'ensemble de la surface des filtres.

Pour les filtres horizontaux, il peut être intéressant de laisser une lame d'eau de quelques centimètres au-dessus de la surface, pendant le début de la croissance des plants (3 à 4 mois), pour éviter le développement de mauvaises herbes.

LES ESSAIS A DIVERSES ETAPES

En complément des annexes au CCTG 81 II, nous donnons ci-après une liste de recommandations tenant compte de la particularité de ce procédé d'épuration.

I.11. PENDANT LA REALISATION

- Reconnaissance du sol en place : Les essais géotechniques ont eu lieu au plus tard avant la phase de réalisation.
- Mesure de la granulométrie des matériaux.
- Vérification des joints des membranes.
- Contrôle visuel des conduites et des drains
- Si un constructeur fait référence à des performances en relation avec une composition particulière des matériaux, il faut demander une analyse de ceux-ci.
- Pour les systèmes fonctionnant de façon gravitaire, vérifier la conformité de l'emplacement des organes d'alimentation et répartition (différences de hauteur et volume) par rapport à la note de calcul prévisionnelle.
- Pour les pompes, il faut au moins vérifier les hauteurs géométriques et la conformité des débits avec les courbes de fonctionnement du fabricant de la pompe et les débits prévus par le constructeur de la station.
- Vérification des organes de contrôle, de mesure.

I.12. AVANT LA MISE EN ROUTE

- Fonctionnement hydraulique de la station en eaux claires à l'aide de mesures : mesure de débits des pompes et/ou siphons, vérification visuelle des systèmes de répartition (toutes les arrivées doivent couler à débits équivalents).
- Test des drains et canalisations.
- Test d'étanchéité.
- Vérification de la planéité des plages d'infiltration.

I.13. PENDANT LA PERIODE DE MISE EN REGIME

- Surveillance de la répartition et correction des défauts de planéité si nécessaire.
- Auscultation des végétaux et procéder à un suivi photographique (taux de reprise apparent, aspect).
- Veiller à la constitution de la couche superficielle (dépôts organiques) des lits du 1^{er} étage s'il est à écoulement vertical.

- Surveiller la reprise des roseaux et la concurrence avec les mauvaises herbes.
- Informer le personnel d'entretien au sujet de ces points particuliers à surveiller en plus des autres opérations de fonctionnement normal, ainsi que de la nécessité de renseigner dès le début le manuel d'exploitation.

I.14. PENDANT LA PERIODE D'OBSERVATION

- Surveillance de la perméabilité, notamment des filtres horizontaux et du deuxième étage des filtres verticaux.
- Auscultation des végétaux et suivi photographique (taux de reprise apparent, aspect)
- Veiller à la constitution de la couche superficielle (dépôts organiques) des lits du premier étage s'il est à écoulement vertical.
- Surveiller la reprise des roseaux et la concurrence avec les mauvaises herbes.

I.15. LES ESSAIS DE GARANTIE

- Mesure de la perméabilité si problème apparent.
- Inspection des végétaux.
- Mesures des performances par un bilan 24 heures. La mise en place de la biomasse épuratoire étant relativement lente (surtout en ce qui concerne la flore nitrifiante), ces mesures ne devront être réalisées, au plus tôt, que 6 mois après la mise en eau.

I.16. AU-DELA DU DELAI DE GARANTIE

- Surveillance de la perméabilité locale (passages préférentiels éventuels) et globale (par rapport à l'ensemble de la surface d'un ou plusieurs filtres)
- Suivi des hauteurs piézométriques à la base du filtre lorsque l'effluent du 2^{ème} étage est infiltré directement dans le sol en place
- Auscultation des végétaux.
- Suivi des boues (vérifier la hauteur d'accumulation des dépôts et s'assurer de leur équi-répartition, sinon prévoir les interventions nécessaires avec le constructeur afin de ne pas mettre en péril le fonctionnement du système).
- Régler le niveau de sortie des filtres horizontaux de façon à établir le niveau d'eau le plus haut possible en évitant toute submersion.

I.17. AVANT CURAGE DES BOUES

- Analyses chimiques des dépôts superficiels en terme de siccité et matière organique par horizons homogènes en 2 ou 3 points judicieusement répartis . On procédera à une analyse globale au regard des exigences vis à vis des éléments traces et de la compatibilité avec un épandage des boues sur terrains agricoles.

L'EXPLOITATION

Comme toute station d'épuration, une installation de ce type doit faire l'objet d'une **surveillance et d'un entretien régulier**. Les observations et les interventions devront être enregistrées dans le cahier de bord de la station.

Compte tenu du rythme d'alternance à adopter pour l'alimentation des massifs filtrants verticaux, un suivi hebdomadaire est nécessaire au minimum.

Outre les recommandations du constructeur, consignées dans le cahier d'exploitation, les principales opérations d'entretien concernent les dispositifs de prétraitement, d'alimentation et de distribution.

I.18. L'ENTRETIEN GENERAL

- Entretien du dégrillage
- Ecrémage du décanteur primaire (le cas échéant)
- Vidange du dessableur et des boues du digesteur (le cas échéant)
- Rotation des lits
- Inspection des ouvrages (dégradation des terrassements, des jointures de bâches, des bétons, des canalisations de répartition, percement des flexibles des bâchées)
- Inspection du fonctionnement (observation de la végétation, répartition de l'eau, constitution de la couche de boue, colmatage)
- Désherbage manuel des adventices présents à la surface des filtres en début de vie de la station
- Nettoyage des organes hydrauliques (bâche de stockage/pompage, siphons, réseaux de distribution et regards de collecte)
- Entretien des abords

I.19. TACHE PARTICULIERE : LE FAUCARDAGE

Filtres verticaux

A partir de l'année qui suit la plantation, on doit effectuer le faucardage à l'automne. Si les hivers sont rigoureux, après fauchage (plus facile à réaliser avant la verse des végétaux flétris), on peut laisser la litière ainsi constituée en place pendant l'hiver (isolation thermique). On l'évacuera avant l'apparition des premières repousses (avant le mois de Mars généralement en France) pour ne pas les endommager par piétinement.

L'outil le plus adapté à la coupe est du type taille haies, monté en bout d'arbre d'une débroussailleuse pour le confort de travail.

Certaines difficultés de repousse ont été constatées sur des installations coupées très près du sol et dont les pieds ont été submergés. L'origine de ces problèmes n'est pas élucidée, de même que leur nature car le constat diffère selon les stations. Il se peut que des roseaux d'apparence identique résistent mieux que d'autres. Par mesure de précaution, il ne faudrait pas couper les tiges à une hauteur inférieure à 30 cm pour éviter que de l'eau ne pénètre dans les tissus des roseaux, via la section de coupe.

Le fait de ne pas faucher n'est pas nuisible aux performances épuratoires, mais la décomposition sur place de toute la partie aérienne des roseaux contribuerait à augmenter la vitesse d'accumulation des dépôts déjà apportés par les MES des eaux usées.

Filtres horizontaux

Il n'est pas nécessaire pour le fonctionnement épuratoire des lits de faucher ce type de filtre. Cela permet également de maintenir une protection thermique lors des périodes hivernales. En revanche il est apparu dans certains cas (les filtres de Curienne en Savoie) que l'accumulation de litière, en surface des filtres, peut favoriser la croissance de plantes nitrophiles indésirables (orties...).

I.20. L'ÉVACUATION DES BOUES

Les boues du premier étage des filtres verticaux sont à évacuer à une fréquence décennale au plus. Leur siccité est de l'ordre de 20 à 30% et la teneur en matières volatiles se situera à un niveau de 35% (au fond, dépôts les plus anciens) à 60% en surface.

L'évacuation peut se faire à l'aide d'une pelleteuse ou d'un tracto-pelle équipé d'un godet assez large et tranchant (du type de ceux utilisés pour le curage des fossés), pour éviter de déstabiliser le massif filtrant en arrachant le système racinaire des roseaux.

La reprise des roseaux est assez rapide à partir des rhizomes restés en place dans la couche de matériau de filtration (en une dizaine de semaines au printemps, il est difficile de voir la différence avec un filtre non curé).

Liste des abréviations

CCTG	Cahier des clauses techniques générales
CU	Coefficient d'uniformité (d60/d10)
DBO ₅	Demande biologique en oxygène à 5 jours
DCO	Demande chimique en oxygène
EPA	Environmental Protection Agency
EPDM	Ethylen Propylen Diene Monomer
IWA	International Water Association
MES	Matière en suspension
MVS	Matières volatiles solubles
PEHD	Polyéthylène haute densité
PVC	Polychlorure de vinyle

Glossaire

Aérobic : se dit d'un milieu contenant de l'oxygène.

Affouillement : processus d'érosion observé autour du point d'alimentation sur un massif filtrant.

Anaérobic : se dit d'un milieu sans oxygène.

Anoxique : se dit d'un milieu sans oxygène dissous mais comportant encore des nitrates.

Bâchée : volume d'eau déversé séquentiellement (en général à fort débit) lors d'une période d'alimentation.

Boues : matières solides décantées qui se déposent au fond d'un décanteur ou d'une fosse toutes eaux. Par commodité, on qualifie également ainsi les dépôts qui s'accumulent sur les filtres du 1^{er} étage des filtres plantés de roseaux à écoulement vertical alimentés en eaux usées brutes, et ce bien que la qualité du produit ne soit pas comparable à des boues primaires accumulées au fond d'un ouvrage de décantation.

By-pass : canalisation permettant de court-circuiter un ouvrage.

Cloison siphonide : paroi permettant de retenir à la surface d'un ouvrage, les flottants et les liquides plus légers que l'eau.

Coefficient de perméabilité (K) : coefficient (exprimé en m/s) qui traduit la plus ou moins grande capacité d'infiltration des eaux dans un matériau filtrant.

CU : Coefficient d'uniformité: c'est le rapport d_{60}/d_{10} .

d₁₀ : diamètre laissant passer 10 % de la masse d'un sable, en mm.

d₆₀ : diamètre laissant passer 60 % de la masse de sable, en mm.

Eaux usées domestiques : eaux ménagères et eaux vannes provenant d'immeubles d'habitation.

Eaux ménagères : eaux usées provenant des éviers, baignoires, lavabos, machines à laver...

Eaux pluviales : eaux issues des toitures et des surfaces imperméables.

Eaux vannes : eaux usées provenant des toilettes.

EH (Equivalent-Habitant) : unité de mesure théorique de la quantité de pollution apportée par un habitant en une journée.

Event : conduit d'aération d'un ouvrage hydraulique.

Exutoire : c'est un site naturel ou aménagé où sont rejetées les eaux traitées.

Fines : particules dont le diamètre est inférieur à 80 µm.

Géosynthétique : on regroupe sous la dénomination de géosynthétiques des nappes en matériaux polymères destinées à être enfouies pour étancher ou empêcher le mélange de deux couches de granulats. Cette dénomination regroupe les géogrilles, les géomembranes et les géotextiles.

Géogrille : grille synthétique perméable ayant des ouvertures sensiblement plus importantes que celles des géotextiles.

Géomembrane : membrane synthétique imperméable.

Géotextile : textile synthétique perméable.

Bibliographie

B.1 Ouvrages de références

- Agence de l'eau RMC.-** Épuration des eaux usées par des filtres plantés de macrophytes, Une étude bibliographique. Lyon, 1999.
- Agence de l'eau RMC/DEFIE -** Suivi de la station de Curienne (J-L Pajean), 2002.
- BERNHARD C., DEGOUTTE G.** – Le génie civil des bassins de lagunage naturel Documentation technique FNDAE n°7 – CEMAGREF, 1990.
- BEYER W.,** - Zur Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit von Kiesen und Sanden aus der Kornverteilungskurve. WWT, pp 165-168, 1964.
- BILLAULT C.** – Le rôle épurateur du sol : L'évolution des polluants dans le sol. Office international de l'eau, 1989.
- BOURSERIE S., CHODZKO R FOLLET., L., FUCHS F., LESAVRE J., LIBERGE S., MILTGEN F., POUGET E., RIFFAUD J-L., SAILLARD S., C. SALOME, SWITALA O.-** Epuration des eaux usées domestiques par filtration sur sable : Prescriptions et recommandations pour la conception et la réalisation. Agence de l'eau Seine-Normandie, 2001.
- BOUTIN C., DUCHENE P., LIENARD A.** – Filières d'épuration adaptées aux petites collectivités - Documentation technique FNDAE n°22 – CEMAGREF, 1998
- BOUTIN C., ESSER D., MOLLE P., LIENARD A.** – Les filtres et lits plantés de roseaux en traitement d'eaux usées domestiques - Perspectives pour le traitement d'eaux pluviales – CEMAGREF, 2001.
- BOUTIN C., LESAVRE J.** – Distribution des eaux usées en filtres enterrés – REPETEAU application pour le dimensionnement des réseaux sous pressions – Application informatique CDROM 2004.
- BRUNNER P-G.** – Bodenfilter zur Regenwasserbehandlung im Misch- und Trennsystem – Handbuch Wasser 4. Landensanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, 1998
- CADIC G.** - Epuration par filtres plantés de roseaux : Aspect « Maîtrise d'œuvre-Marchés publics » - ENGREF Montpellier.
- Comité français des géotextiles et géosynthétiques** - Recommandations générales pour la réalisation d'étanchéités par géomembranes – 1991.
- Commission ATV 2.10 – Directive ATV-A 262 :** Principes de fonctionnement, de construction et d'exploitation de filtres plantés de macrophytes pour le traitement des eaux usées communales dans des stations d'épuration jusqu'à 1000 EH – 1998.
- COOPER P F, GD JOB, GREEN M B, SHUTES R B E,-** Reed beds and constructed wetlands for wastewater treatment.- 1996 – UK.
- EPA Manual** – Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewaters – EPA/625/R-99/010 – September 2000.
- DEGOUTTE G. - Petits barrages :** recommandations pour la conception, la réalisation et le suivi. Cemagref Editions 2002.
- Groupe de travail « stations d'épuration »** - Recommandations pour la conception et la réception des installations de traitement d'eaux usées (Synthèse générale)– AERM – 2001.
- Haberl R., Perfler R.** - Seven years of research work and experience with wastewater treatment by a reed bed system. In Constructed wetlands in water pollution control, Pergamon Press, Oxford, New York, pp 205-214 - (1990)
- IWA Specialist Group "Use of Macrophytes in Water Pollution Control".-** Constructed Wetlands for Pollution Control: processes, performance, design and operation. Scientific and Technical Report N°8. IWA Publishing, 2000.
- Journée technique du 8 avril 1999, Metz** - Epuration des eaux usées domestiques par filtres plantés : Relevé de conclusions – Agence de l'eau Rhin-Meuse, 2000.
- LIENARD A., GUELLAF H., BOUTIN C.** – Choix de sable pour les lits d'infiltration-percolation, CEMAGREF LYON QELY. Ingénieries - E A T, n° spécial Assainissement, traitement des eaux, 2000, p. 59-66

Molle P., Liénard A., Boutin C., Merlin G., Iwema A. How to treat raw sewage with constructed wetlands: An overview of the French systems. In 9th International Conference on wetlands Systems for water Pollution Control, Sept 27-30, 2004 Avignon (2004) (France)

Molle P. Filtres plantés de roseaux: limites hydrauliques et rétention du phosphore. Thèse de Génie des procédés. Université de Montpellier - Cemagref, (2003). 267 p.

B.2 Etudes Agence de l'Eau RMC / INSA Strasbourg concernant les stations à lits plantés de macrophytes

SANTIMONE F. Les stations d'épurations à lits plantés de macrophytes pour le traitement des eaux usées – avant projet de recommandations – PFE ENSAIS, Strasbourg 2002

DAP S.- Stations d'épuration à lits plantés de macrophytes pour le traitement des eaux usées – projet de recommandations pour les phases de conception, réalisation, réception et l'exploitation.- mém. Licence ULP-ENGEES – Strasbourg. 2002

B.3 Documents normatifs et réglementaires

NF EN 12255-1 Avril 2002 - Stations d'épuration - Partie 1 : Principes généraux de construction.

NF EN 12255-10 Juin 2001 - Stations d'épuration - Partie 10 : Principes de sécurité. Indice de classement.

NF EN 12255-11 Août 2001 - Stations d'épuration - Partie 11 : informations générales. Indice de classement : P16-700-11

NF EN 12255-3 Avril 2001 - Stations d'épuration - Partie 3 : prétraitements. Indice de classement : P16-700-3

NF EN 12255-12 Décembre 2001 - Stations d'épuration - Partie 12 : mesure et contrôle. Indice de classement : P16-700-12PR

NF EN 752-1 Avril 1996 - Réseaux d'évacuation et d'assainissement à l'extérieur des bâtiments - Partie 1 : généralités et définitions. Indice de classement : P16-150-1

NF EN 752-2 Novembre 1996 - Réseaux d'évacuation et d'assainissement à l'extérieur des bâtiments - Partie 2 : prescriptions de performances. Indice de classement : P16-150-2

NF EN 752-3 Novembre 1996 Réseaux d'évacuation et d'assainissement à l'extérieur des bâtiments - Partie 3 : établissement de l'avant-projet. Indice de classement : P16-150-3

NF EN 752-4 Novembre 1997 - Réseaux d'évacuation et d'assainissement à l'extérieur des bâtiments - Partie 4 : conception hydraulique et considérations liées à l'environnement. Indice de classement : P16-150-4

NF EN 752-5 Décembre 1997 - Réseaux d'évacuation et d'assainissement à l'extérieur des bâtiments - Partie 5 : réhabilitation. - Indice de classement : P16-150-5

NF EN 752-6 Décembre 1998 - Réseaux d'évacuation et d'assainissement à l'extérieur des bâtiments - Partie 6 : installations de pompage. Indice de classement : P16-150-6

NF EN 752-7 Décembre 1998 - Réseaux d'évacuation et d'assainissement à l'extérieur des bâtiments - Partie 7 : entretien et exploitation. Indice de classement : P16-150-7

CCTG Fascicule 81 titre II : conception et exécution d'installations de traitement d'eaux usées

ANNEXE A. : Liste des normes applicables spécifiques au fascicule 81 Titre II du CCTG travaux

ANNEXE B. : Liste des fascicules du CCTG travaux applicables

ANNEXES NON CONTRACTUELLES :

ANNEXE I. Chronologie de l'exécution du marché de travaux sur appel d'offres sur performances cas normal

ANNEXE II. Les étapes jusqu'à la réception

ANNEXE III. Conception et exécution d'installations d'épuration d'eaux usées - modèle de présentation des dispositions techniques particulières du PFD

ANNEXE IV. Mots clés du CCTG fascicule 81- Titre II