

**Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse**

**EPURATION DES EAUX USEES PAR DES FILTRES PLANTES DE  
MACROPHYTES**

Une étude bibliographique

1999

# SOMMAIRE

<b>PRÉAMBULE</b> .....	<b>2</b>
<b>1 PRÉSENTATION DE FILTRES PLANTÉS DE MACROPYTES</b> .....	<b>4</b>
1.1 PRINCIPES DE FONCTIONNEMENT .....	4
1.1.1. <i>Les filtres horizontaux</i> .....	5
1.1.2. <i>Les filtres verticaux</i> .....	7
1.1.3. <i>Les systèmes hybrides</i> .....	9
1.2 RÔLE DES DIFFÉRENTES COMPOSANTES DU SYSTÈME .....	11
1.2.1. <i>Rôle du matériau de remplissage</i> .....	11
1.2.2. <i>Rôle des plantes</i> .....	11
1.2.3. <i>Rôle des micro-organismes</i> .....	14
1.3 LES MECANISMES D'ÉLIMINATION ET LES PERFORMANCES EPURATOIRES .....	16
1.3.1. <i>Les matières en suspension</i> .....	17
1.3.2. <i>La matière organique</i> .....	18
1.3.3. <i>L'azote</i> .....	19
1.3.4. <i>Le phosphore</i> .....	20
1.3.5. <i>Les métaux</i> .....	21
1.3.6. <i>Les micro-organismes d'origine humaine</i> .....	21
<b>2 CONTRAINTES TECHNIQUES</b> .....	<b>23</b>
2.1 CONTRAINTES AMONT .....	23
2.1.1. <i>Importance du flux à traiter</i> .....	23
2.1.2. <i>Type de réseau d'assainissement alimentant la station</i> .....	24
2.1.3. <i>Les différents types d'eaux à traiter</i> .....	24
2.2 CONTRAINTES DE SITE .....	27
2.2.1. <i>Surface disponible</i> .....	27
2.2.2. <i>Caractéristiques du terrain</i> .....	27
2.2.3. <i>Conditions climatiques</i> .....	28
2.2.4. <i>Besoin en personnel d'exploitation</i> .....	29
2.3 CONTRAINTES AVAL .....	30
<b>3 DIMENSIONNEMENT ET MISE EN OEUVRE</b> .....	<b>34</b>
3.1 FILTRES HORIZONTAUX .....	34
3.1.1. <i>Dimensionnement</i> .....	34
3.1.2. <i>Mise en oeuvre</i> .....	38
3.2 FILTRES VERTICAUX .....	43
3.2.1. <i>Dimensionnement</i> .....	43
3.2.2. <i>Mise en oeuvre</i> .....	45
<b>4 EXPLOITATION ET ENTRETIEN</b> .....	<b>49</b>
4.1 EXPLOITATION .....	49
4.1.1. <i>Alternance d'alimentation des bassins</i> .....	49
4.2.2. <i>Vidange des bassins restés en eau</i> .....	49
4.2 ENTRETIEN .....	50
4.2.1. <i>Entretien particulier lors de la mise en route</i> .....	50
<b>5 LES COÛTS</b> .....	<b>52</b>
5.1 COÛTS D'INVESTISSEMENT .....	52
5.2 COÛTS D'EXPLOITATION .....	55
<b>6 FICHES DE CAS</b> .....	<b>57</b>

## PREAMBULE

Le traitement des eaux des collectivités rurales pose un problème dans la mesure où l'expérience montre que les technologies intensives développées initialement pour une application en milieu urbain ne s'avèrent pas forcément adaptées au milieu rural. Les handicaps se situent certes au niveau des coûts d'investissement, mais les dispositifs de financement public permettent à beaucoup de collectivités pour des coûts à l'habitant raisonnables de s'équiper d'unités de traitement.

En revanche, sur le plan de l'exploitation, plusieurs difficultés subsistent. D'une part, les coûts d'exploitation viennent entièrement en charge des collectivités, même si les primes pour épuration permettent d'alléger le budget de fonctionnement. Il y a donc une demande pour des systèmes peu onéreux en termes d'exploitation. D'autre part - et surtout - l'exploitation des systèmes intensifs n'est pas toujours optimale, malgré les efforts importants des SATESE dans le domaine de la formation. Manifestement, il n'y a pas toujours adéquation entre les compétences et l'intérêt des personnes chargées de l'exploitation des systèmes intensifs et demandant des compétences spécifiques. L'organisation d'un service d'exploitation intercommunal ou encore le sous-traitement à une société spécialisée pourrait constituer une solution, mais pour diverses raisons n'a pas toujours la faveur des responsables.

Il y a donc une forte demande pour des systèmes dits "extensifs" qui sont caractérisés par des faibles contraintes d'exploitation aussi bien en termes économiques que technologiques.

Plusieurs systèmes existent en France. On a vu apparaître les lagunes dans les années 70 et les lits d'infiltration-percolation sur sable dans les années 80. Un autre système, dont le fonctionnement s'apparente à beaucoup d'égards à celui des lits d'infiltration-percolation sur sable (massifs filtrants en parallèle, mis en service et au repos de façon alternée et alimentés par bâchées ou par à-coups hydrauliques à fort débit après un stockage temporaire) a vu le jour plus récemment en France : il s'agit des filtres plantés de roseaux, dérivant eux-mêmes des filtres à macrophytes originaires d'Allemagne.

Cette "technique" introduite en France à la fin des années 80, suscite actuellement auprès des élus ruraux un intérêt croissant, dont une des explications réside sans doute dans l'aspect "écologique" des installations. L'Agence de l'Eau est donc fortement sollicitée pour donner des renseignements sur ce type de dispositif et a, pour répondre à cette demande, entrepris un travail de synthèse sur le sujet. Ce travail a consisté en :

- l'étude bibliographique de documents scientifiques récents. Il existe une littérature abondante sur le sujet. Des conférences spécialisées biennales, internationales, organisées avec l'appui de l'IWA (International Water Association) regroupent sous le terme générique de "Constructed wetlands" chercheurs et praticiens de nombreux pays dans le monde,
- la visite d'une dizaine d'installations françaises et des discussions avec les responsables de leur exploitation,
- des entretiens avec des concepteurs et avec les équipes du Cemagref et de l'université de Chambéry travaillant dans ce domaine.

Le présent rapport se veut une contribution à la connaissance de l'état de l'art sur les filtres plantés de macrophytes, accessible au public concerné : personnel des Agences de l'Eau, maîtres d'œuvre des collectivités, techniciens des services départementaux, ... Il n'a toutefois pas l'objectif d'être un manuel de dimensionnement, la conception en apparence simple de ce genre de dispositifs étant une affaire de professionnels compétents. Ce document ne veut pas non plus avoir un caractère normatif dans la mesure où la technique de filtres plantés est encore relativement jeune et que les connaissances et les applications de ces connaissances sont encore en évolution.

Ce travail a été réalisé par Charlotte Grison, dans le cadre d'une vacation à l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse.

Nous remercions toutes les personnes ayant collaboré d'une façon ou d'une autre à ce travail et notamment :

Madame la Maire d'Ars (16),

Messieurs les Maires de Aureil (87), Curienne (73), Gensac la Pallue (16), Manspach (68), Montromant (69), Pannesières (39), Roussillon (84) et Queige (73),

Madame Boutin (Cemagref Lyon),

Messieurs Bois (DDASS 16), Cadic (DDAF 73), Blake et Merlin (Université de Chambéry), Esser (SINT, Montromant, 69), Lienard (Cemagref Lyon).

## 1 PRESENTATION DE FILTRES PLANTES DE MACROPYTES

### 1.1 PRINCIPES DE FONCTIONNEMENT

On distingue globalement trois types d'applications :

- les lits plantés de macrophytes à écoulement horizontal superficiel
- les filtres plantés de macrophytes à écoulement horizontal sous la surface;
- les filtres plantés de macrophytes à percolation verticale.

Les lits plantés à écoulement *superficiel* s'apparentent à des lagunes à macrophytes avec une tranche d'eau libre d'une quarantaine de centimètres d'épaisseur dans laquelle se développent des macrophytes enracinés dans la couche superficielle de sol sous-jacent (en place ou rapportée). Ils ne jouent pas de rôle de filtre. En raison de contraintes d'exploitation lourdes, occasionnées par le nécessaire faucardage des végétaux aquatiques variés (typha, scirpes, joncs, roseaux, ...), ces dispositifs qui constituaient souvent la partie terminale d'un lagunage naturel ne sont plus recommandés. Ils ne sont donc mentionnés ici que pour mémoire et ne feront pas l'objet de développements ultérieurs dans ce document.

Dans les filtres plantés de macrophytes à écoulement *sub-superficiel horizontal* ou *vertical*, les plantes sont enracinées dans des matériaux minéraux rapportés (graviers le plus souvent) ou en place (dès lors que la texture le permet). Les processus épuratoires sont très majoritairement le fait de micro-organismes fixés sur ces supports minéraux et sur la partie racinaire des plantes qui, outre une stimulation de l'activité métabolique des bactéries, mentionnée par certains auteurs, facilitent également l'intégration des dispositifs dans le paysage.

Ces deux types se différencient essentiellement par le fait que dans les filtres à écoulement horizontal, les matériaux sont en état de saturation permanente quasi complète et qu'ils sont constitués d'un seul bassin ou de plusieurs mais placés en série. Dans ce document, on les appellera couramment «filtres horizontaux ».

En revanche, dans les filtres à écoulement vertical, les eaux usées «percolent» au travers des matériaux drainés. Ils sont toujours agencés en parallèle et donc alimentés de façon alternée et par bâchées. Ils peuvent aussi être agencés sur deux étages placés en série. Leur mode de fonctionnement est, de ce fait tout à fait assimilable à celui des systèmes à cultures fixées sur supports fins parmi lesquels, outre les lits infiltration-percolation sur sable se classent aussi les filtres enterrés et les divers dispositifs d'épandage utilisés en assainissement collectif et non collectif. Ils seront mentionnés ci-après sous le vocable de «filtres verticaux ».

L'utilisation des végétaux aquatiques en traitement des eaux usées est déjà relativement ancienne; ses premières applications à petite échelle datant des années 60. En revanche, son application pour des collectivités de plusieurs centaines d'habitants, est récente. En effet, si tous les systèmes en rupture avec les technologies intensives (comme le lagunage, l'infiltration-percolation) ont eu des démarrages difficiles, les systèmes plantés de macrophytes, qui ont trouvé leur origine dans un monde professionnel (les biologistes) assez

éloigné de celui de l'assainissement classique (les ingénieurs), ont eu un démarrage particulièrement lent et cela dans tous les pays d'Europe. Cependant, depuis le milieu des années 80 des accélérations dans la mise en place ont pu être constatées.

Pays	Nombre d'installations (1999)	Année de démarrage	Type de filtre	Type de réseau
Allemagne	400	1988	H et V	Surtout unitaire
Royaume Uni	400	1985	H et puis V	Surtout unitaire
Autriche	300	1993	H et V	Unitaire et séparatif
Danemark	100	1984	H (sol) puis H et V	Unitaire et séparatif
République Tchèque	80	1993	H	Unitaire et séparatif
France	40	1993	Surtout V	Unitaire et séparatif

Tableau 1. Evolution de la mise en place de filtres plantés de macrophytes dans quelques pays européens. (H = horizontal, V = vertical)

Les chapitres suivants sont basés sur la lecture d'une bibliographie, principalement en anglais, décrivant des expériences à échelle pilote, mais aussi - et de plus en plus - d'installations en taille réelle. Ce retour d'expérience a fait évoluer les systèmes et les options prises. Toutefois, actuellement une certaine maturité de la technique semble atteinte permettant de faire le point sur l'état de l'art sans risque de mise en cause immédiate.

### 1.1.1. Les filtres horizontaux

Les filtres horizontaux sont des bassins remplis de manière homogène de sable, de gravier ou de sol en place, et dans lesquels ont été plantés des macrophytes.

L'effluent est réparti sur toute la largeur et la hauteur du filtre par un système répartiteur situé à une extrémité du bassin ; il s'écoule ensuite dans un sens principalement horizontal au travers du substrat. La plupart du temps, l'alimentation a lieu en continu et les matériaux sont pratiquement saturés en permanence.

L'évacuation se fait par un drain placé à l'autre extrémité du filtre, au fond et enserré dans une tranchée drainante garnie de pierres. Ce drain est relié à un tube dont la hauteur de surverse est modifiable permettant de régler la hauteur de l'eau dans le filtre, de façon à ce qu'il soit saturé pendant la période d'alimentation. Le niveau d'eau doit être maintenu environ à 5 cm sous la surface du matériau. Ceci permet d'éviter les écoulements préférentiels en surface et d'assurer un flux homogène.

En effet l'eau ne doit pas circuler au-dessus de la surface pour ne pas court-circuiter la biomasse active située dans le filtre et responsable du traitement ; il n'y a donc pas d'eau libre.

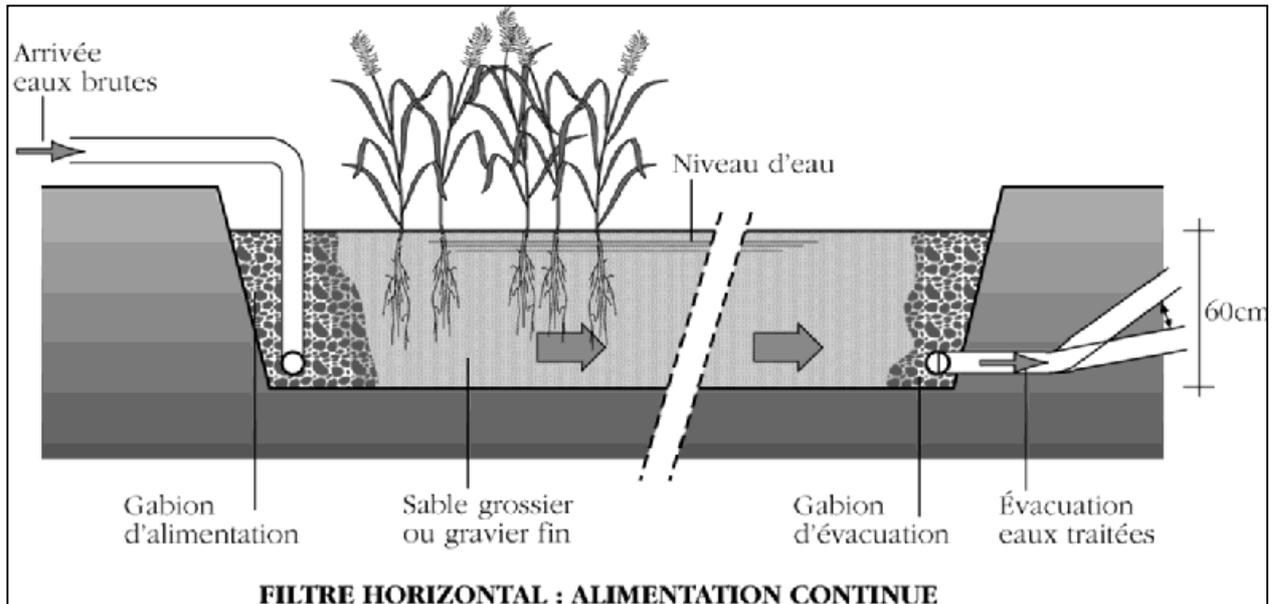


Figure 1 : Schéma d'un filtre horizontal en coupe transversale

Le matériau de remplissage doit avoir une conductivité hydraulique suffisante pour ne pas être colmaté par les matières en suspension contenues dans les eaux usées ou générées à partir des matières organiques dissoutes, mais pas trop élevée pour permettre d'assurer une filtration. Il est un des supports du développement microbien responsable du traitement biologique. Si les premiers systèmes utilisaient le sol en place, actuellement dans la plupart des pays européens on abandonne l'utilisation du sol pour des matériaux granulaires plus grossiers.

Les macrophytes ont plusieurs rôles :

- par la croissance de leurs racines et de leurs rhizomes qui ouvrent le milieu elles créent des voies hydrauliques.
- contraints de se développer dans des milieux saturés en eau (les marais naturels), les végétaux aquatiques ont, au cours de leur évolution, développé la faculté de transférer l'oxygène formé par synthèse chlorophyllienne vers leurs parties souterraines (rhizomes, racines et radicules). Une partie de cet oxygène est excrétée dans le milieu environnant pour participer à l'oxydation des sels minéraux nécessaires à la nutrition des plantes. Une fraction résiduelle, relativement minime, mais dont l'estimation, à caractère polémique, a fait l'objet d'investigations scientifiques (Armstrong & Armstrong, 1988 ; Brix, 1990, pour ne citer que les plus connus), est encore disponible pour participer aux processus de dégradation aérobie de la matière organique. Elle s'ajoute aux phénomènes limités, dans un milieu saturé, de diffusion depuis la surface.
- les racines servant aussi de support au biofilm, elles sont, avec leur environnement immédiat, des zones particulièrement actives pour le métabolisme aérobie alors qu'en s'en éloignant les processus anaérobies dominent.

Alimentés à très faibles charges surfaciques et/ou volumiques, les filtres horizontaux permettent une bonne élimination des matières en suspension et des matières organiques dissoutes. En revanche, peu oxygénés, ils sont peu efficaces pour oxyder l'ammonium.

Les filtres horizontaux ont plusieurs domaines d'application. Ils sont utilisés en traitement secondaire pour traiter des eaux peu concentrées de petites collectivités ayant obligatoirement subi une décantation préalable, en traitement tertiaire après un traitement biologique classique ou après des filtres plantés à écoulement vertical et enfin, pour le traitement des eaux pluviales.

Le temps de séjour hydraulique dans ces dispositifs est de plusieurs jours.

La 1<sup>ère</sup> version des filtres horizontaux utilisés en traitement complet a été développée en Allemagne en 1964 par Kickuth de l'Université allemande de Kassel. C'est pourquoi il est souvent appelé "système Kickuth". On le rencontre aussi sous le vocable "Root Zone Method". A l'origine les dispositifs utilisaient le sol en place, éventuellement amendé avec des ajouts (argile, chaux). Il a fait l'objet d'un brevet américain en 1989 (Kickuth, R.). Le premier système mis en exploitation date de 1974.

Exporté vers des pays européens (Danemark, Royaume Uni, notamment), le système a fait l'objet de nombreuses critiques de la part de scientifiques (Brix, 1987 ; Bucksteeg, 1987) qui ont contesté le dimensionnement et l'aptitude des roseaux à augmenter la perméabilité des sols en place utilisés comme matériaux.

Parallèlement, des recherches étaient menées pour fiabiliser le fonctionnement d'un procédé jugé par ailleurs potentiellement intéressant et susceptible de combler un vide dans les pays où le lagunage naturel et les lits infiltration-percolation sur sable étaient peu répandus (Haberl and Perfler, 1990).

### **1.1.2. Les filtres verticaux**

Les filtres verticaux sont des bassins remplis de couches de graviers de granulométries différentes superposées, et selon leur place dans la filière de traitement recouvertes ou non d'une couche de sable, dans laquelle sont plantés les macrophytes.

Suite à des travaux conduits, notamment en France par le Cemagref, en parallèle sur les lits d'infiltration-percolation sur sable et les filtres plantés de roseaux (Liénard *et al.*, 1990 ; Guilloteau *et al.*, 1993a et b ; Boutin *et al.*, 1997), la conception des systèmes a évolué. On mentionnera :

- l'alimentation par un système dit de "bâchées", c'est à dire par à-coups : après stockage temporaire le liquide est déversé rapidement sur le filtre, grâce à des pompes ou à un siphon auto-amorçant, de manière à submerger la totalité de la surface. Ce dispositif permet une infiltration homogène au travers du filtre,
- l'alimentation des filtres du 1<sup>er</sup> étage en eaux usées *brutes* ayant subi un simple dégrillage préalable. Les matières en suspension forment un dépôt qui aide à la bonne répartition de l'effluent sur le filtre. Ce colmatage superficiel est percé par les tiges de roseaux, émises depuis les nœuds du rhizome. A la faveur des périodes de repos, en général 2 fois plus

longues que celles de l'alimentation, il se résorbe en majeure partie durant la saison estivale. Accessoirement, du fait de sa conductivité hydraulique plus faible que le gravier qui constitue l'essentiel du matériau colonisé par la biomasse épuratoire, il permet au liquide de s'étaler davantage en surface et de solliciter ainsi un volume de matériau plus important,

- Le système étudié initialement en Allemagne par le Dr. Seidel comportait après un premier étage vertical jusqu'à quatre horizontaux dont les derniers étaient plantés de scirpes et iris. Dans la configuration modifiée par le Cemagref seule un *deuxième* étage a été conservé, mais également plantés de roseaux et fonctionnant selon le même principe que le premier étage.

Les eaux sont collectées dans le fond du bassin par une couche drainante constituée de gros graviers disposés autour d'un réseau de tuyaux de drainage connecté à l'atmosphère par des cheminées d'aération.

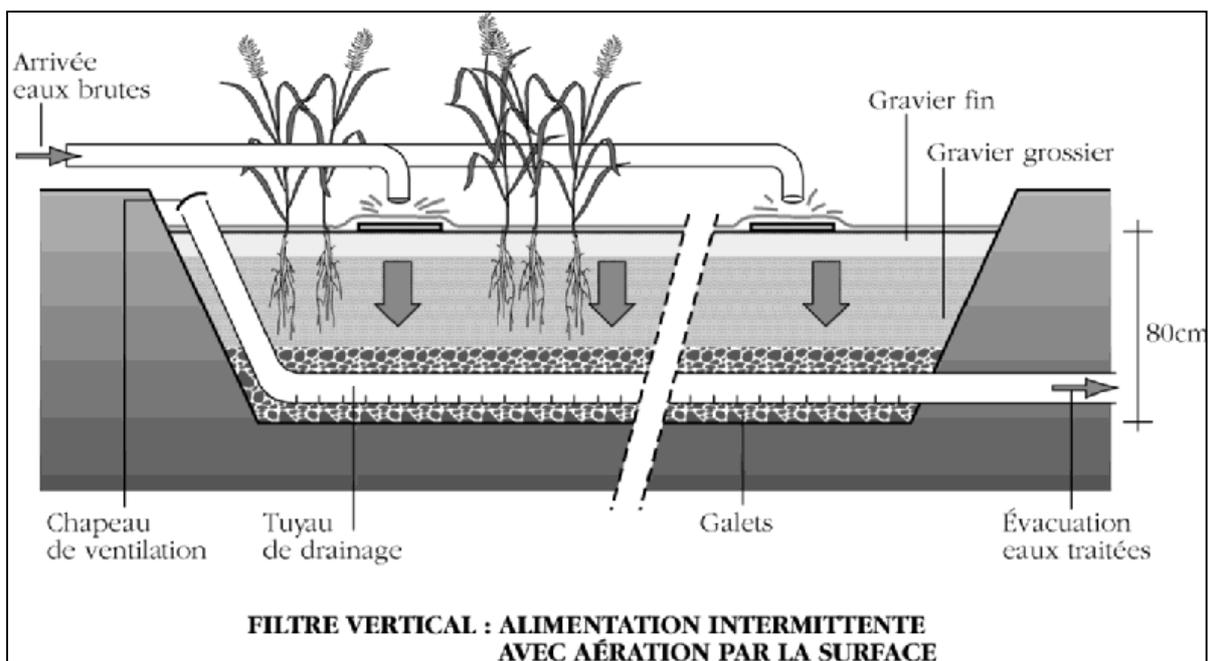


Figure 2 : Schéma d'un filtre vertical (deuxième étage) en coupe transversale

L'aération est assurée par trois processus qui se conjuguent à des degrés divers et présentés ici vraisemblablement en ordre décroissant, tant il est difficile de pouvoir les quantifier avec précision :

- la diffusion qui opère à la fois depuis la surface des filtres dès lors qu'ils ne sont pas recouverts par une lame d'eau et par le dispositif d'aération de la couche drainante. Elle permet un renouvellement de la phase gazeuse des espaces intergranulaires en milieu non saturé,
- la convection liée au déplacement des lames d'eau apportées à chaque bâchée qui agit, de façon très simplifiée, à la manière d'un piston poussant les gaz vers la couche drainante mais aussi aspirant de l'air via la surface dès lors que celle-ci est dénoyée,
- enfin, les apports excrétés par les racines des plantes et déjà mentionnés.

Les filtres verticaux sont donc par essence aérobies. L'oxygénation plus importante que dans les filtres horizontaux, assure, outre l'élimination des matières organiques dissoutes, une bonne nitrification. Grâce à la bonne oxygénation du filtre, les processus anaérobies y sont pratiquement absents et il n'y a donc pas de mauvaises odeurs générées.

Ils nécessitent par ailleurs impérativement l'alternance de périodes d'alimentation et de repos afin de permettre le ressuyage et la minéralisation des dépôts organiques résultant de la rétention des particules en suspension apportées par les eaux usées brutes sur les filtres du premier étage. La mise au repos régulière est aussi indispensable au sein des massifs filtrants pour permettre au biofilm de dégrader les réserves de matière organique accumulée au cours des périodes d'alimentation et d'autoréguler sa croissance au regard de la faible disponibilité de substances nutritives au cours de ces périodes. Elle concourt à maintenir libres les interstices du matériau et éviter ainsi le colmatage.

Ces filtres verticaux sont utilisés pour traiter des eaux plus concentrées que les filtres horizontaux car les matières en suspension s'accumulent en surface et ne colmatent donc pas l'intérieur du filtre.

Le temps de séjour hydraulique dans ces dispositifs est de l'ordre de quelques heures.

Les premiers filtres verticaux ont été développés par Seidel en Allemagne dans les années 1970 ; dans la littérature, on les retrouve sous les noms de "infiltration fields", "Krefeld-System" ou encore "Max Planck Institute Process". Dès l'origine, on a utilisé des supports granulaires rapportés pour ces filtres. A l'origine, ils étaient souvent associés à des filtres horizontaux en aval et, à ce titre, pouvaient être classés comme "systèmes hybrides".

### **1.1.3. Les systèmes hybrides**

Les systèmes hybrides sont en fait l'association en série de filtres verticaux et de filtres horizontaux. L'association la plus courante, initialement étudiée par le Dr. K. Seidel et mise en œuvre de façon relativement limitée au Etats-Unis, en Allemagne, en Autriche et en France (Boutin, 1987) est constituée de deux étages consécutifs de filtres verticaux en parallèle suivis de deux ou trois étages de filtres horizontaux en série (cf. fiche de cas concernant l'installation de Pannesières).

L'intérêt d'une telle association est d'obtenir une bonne nitrification dans les filtres verticaux qui sont bien oxygénés, mais aussi une dénitrification dans les filtres horizontaux où l'on trouve les conditions d'anoxie nécessaires à cette réaction. Les rendements de la dénitrification ne sont pas très élevés car les bactéries dénitrifiantes ont besoin de matière organique pour se développer et dénitrifier correctement. Or, en sortie des filtres verticaux, la majeure partie de la matière organique a été dégradée, elle n'est donc plus disponible pour les bactéries.

Des variantes ont aussi été étudiées plus récemment principalement au Danemark (Vyzamal et al, 1998), où l'on trouve des filtres horizontaux en premier étage suivis de filtres verticaux. L'explication de l'existence de cette disposition est historique : au Danemark on a commencé par construire des filtres horizontaux. Avec l'introduction des normes concernant l'azote, ces

systemes ont été complétés en aval par des filtres verticaux. En effet, les premiers filtres ont pour rôle la rétention des matières en suspension et l'élimination des matières organiques dissoutes, les seconds mieux oxygénés assurent la nitrification. Une recirculation des effluents nitrifiés en tête de traitement peut permettre d'obtenir de bons résultats en matière de dénitrification, mais ce dispositif nécessite d'installer des pompes et organes de programmation dont la complexité serait en contradiction par rapport à la rusticité des filtres plantés de macrophytes qui est leur principal intérêt.



Photo 1 : Les lits plantés de Queige (73) lors de leur 2ème été de fonctionnement.

### 1.2.1 Rôle du matériau de remplissage

De par sa granulométrie, le matériau de remplissage a un rôle évident de filtration des matières en suspension présentes dans les eaux usées, d'où le nom de filtres. Son efficacité dans ce rôle dépend en grande partie de la texture du matériau que l'on approche par sa granulométrie et qui interviendra notamment sur les caractéristiques hydrodynamiques (conductivité hydraulique en milieu saturé ou non).

Le choix d'un matériau optimisé au regard des objectifs de traitement recherché et du type d'écoulement (en milieu saturé ou non), qui comme nous l'avons vu précédemment, est imposé par la géométrie et le principe de fonctionnement des filtres, selon qu'ils sont horizontaux ou verticaux.

Schématiquement, on peut dire que pour un filtre vertical, dont le fonctionnement est, rappelons-le, nécessairement aérobie (sinon le risque de colmatage rapide est patent), le choix d'une granulométrie adaptée doit nécessairement prendre en compte la chute de la conductivité hydraulique liée au développement bactérien (par réduction de la porosité totale) et la nécessaire porosité supplémentaire, dite « libre à l'air », indispensable pour la diffusion qui est le facteur prépondérant de l'aération du milieu. Les équilibres biologiques fluctuent au gré des indispensables périodes d'alimentation et de repos et sont aujourd'hui encore très mal connus et relativement peu étudiés.

En filtre horizontal, au plan strictement physique, les paramètres peuvent apparaître plus simples à caler mais ils se compliquent au niveau biologique, domaine là aussi mal connu, étant donné que des auteurs (Lemore, 1984, s'appuyant sur des données bibliographiques anciennes, Mitchell and Nevo, 1964 ; Siegrist, 1987, Ronner and Wong, 1994) mentionnent de possibles interférences des sécrétions bactériennes selon que le métabolisme bactérien est de type aérobie ou anaérobie pour des bactéries pouvant passer facultativement d'un métabolisme à l'autre, selon les conditions oxydo-réductrices du milieu. Une recherche bibliographique récente pointant sur ces aspects serait déjà d'un précieux secours.

La composition du matériau de remplissage influence également le traitement par sa capacité à adsorber le phosphore ou encore les métaux lourds. Cela dépend essentiellement de sa teneur en fer, aluminium, calcium et du temps de séjour des eaux dans le massif, variable avec la porosité du matériau en place, à mettre en relation avec les cinétiques compatibles avec les objectifs de traitement fixés.

Les caractéristiques des matériaux utilisés sont décrites en § 3.1.2. et § 3.2.2.

### 1.2.2. Rôle des plantes

Les plantes les plus utilisées en Europe sont les roseaux (*Phragmites australis*); aux États-Unis, ce sont les massettes ou quenouilles (*Typha*) qui sont les plus fréquentes. Ces deux espèces ont démontré leur capacité à tolérer des eaux usées peu, moyennement et fortement

concentrées. Pour un traitement de finition, on peut utiliser des espèces très variées de plantes de zones humides et même des espèces ligneuses telles que les saules (*Salix*).

Les plantes ont de nombreux rôles supposés, mais dont l'apport quantifié au processus d'élimination n'est pas toujours bien établi.

Il y a d'abord des rôles indirects :

- Dans les filtres verticaux, elles empêchent la matière organique retenue en surface de former une croûte relativement imperméable qui gênerait l'infiltration des eaux. Ceci est possible grâce aux rhizomes qui permettent à la plante de se développer horizontalement en émettant de nouvelles tiges de loin en loin. Ces jeunes tiges percent la couche de boues et aménagent ainsi à leur base un anneau libre à la circulation de l'eau qui est régulièrement réalésé par les oscillations provoquées par le vent ; dans une certaine mesure ils l'empêchent aussi de se compacter. Sur le site de Gensac-La-Pallue (cf. fiche de cas « Gensac-La-Pallue »), un test a été réalisé en laissant l'un des bassins volontairement non planté. A la surface de celui-ci, se formait une "moquette" cellulosique qu'il fallait gratter. Sur les filtres plantés, les jeunes tiges émises depuis les nœuds des rhizomes empêchaient ce phénomène.
- En lien avec l'observation précédente, les plantes favoriseraient le développement de micro-organismes cellulolytiques grâce à l'ombrage qu'elles procurent et à l'hygrométrie qu'elles maintiennent. La couche de boues à la surface des filtres verticaux est ainsi plus rapidement minéralisée.
- De même la présence des rhizomes, des racines, des radicules et d'une grande quantité de lombrics garantit une minéralisation poussée des dépôts qui donnent une sorte de terreau parfaitement aéré et dont la perméabilité reste élevée.
- Elles assurent l'ouverture du support minéral. En effet, leurs rhizomes et leurs racines créent, en se développant, des sortes de tunnels, qui sont réputés perdurer après la mort des organes. Cette dernière supposition, avancée par Kickuth, pour justifier la plantation de roseaux dans des sols en place qui ne présentaient pas toujours a priori des perméabilités initiales adaptées a été contestée (Haberl and Perfler, 1990 ; Cooper *et al.*, 1996). Quoiqu'il en soit, il est fort probable que l'eau s'infiltrant préférentiellement autour des tiges poursuit son cheminement au voisinage des rhizomes et des racines si la cohésion du sol environnant l'autorise. Les micro-organismes fixés à ces emplacements sont vraisemblablement plus sollicités que les autres et participent de ce fait de manière prépondérante à la dégradation des matières dissoutes et, dans les tranches très superficielles, également particulières. Ceci pourrait contribuer à la migration d'une partie des matières en suspension vers les couches sous-jacentes (notamment dans les filtres constitués de gravier).
- Comme entrevu précédemment, elles servent, tout comme le substrat minéral, de support au développement microbien au niveau de leurs parties souterraines. Les populations microbiennes présentes dans le matériau support et sur la rhizosphère (zone des rhizomes et des racines) sont plus importantes que dans les filtres non plantés. Les preuves scientifiquement établies de «l'effet rhizosphère» sont toutefois peu nombreuses. Hofmann (1990), au cours de recherches sur la déshydratation des boues est l'un des rares

scientifiques à s'être intéressé à ces aspects et à prouver leur authenticité. Récemment, Decamp *et al.* (1998) ont montré que la rhizosphère pouvait stimuler l'activité prédatrice de certains protozoaires vis à vis d'*Escherichia coli*.

- Elles fournissent de l'oxygène aux bactéries, par transfert depuis les parties aériennes (tiges et feuilles), vers les parties souterraines par un tissu qui leur est propre: l'aérenchyme (Armstrong & Armstrong, 1988, 1990, 1992). L'oxygène est libéré au niveau des jeunes racines très fines, dans un film aqueux oxygéné, de moins d'1 mm d'épaisseur, qui entoure le chevelu racinaire. La quantité d'oxygène ainsi transférée est faible, il est vrai, (et selon certains auteurs négligeable, notamment en hiver quand les plantes sont flétries [Brix and Schierup, 1990]), mais ce rôle peut avoir son importance dans les filtres horizontaux, où le seul autre mécanisme d'aération est l'échange par la surface du filtre.



Photo 2 : Une plaque de boues insuffisamment ombragée par une végétation encore éparse

On affecte par ailleurs aux plantes des rôles directs :

- Elles assimilent certaines substances, telles l'azote et le phosphore, pour leur métabolisme propre et/ou pour les stocker. Ce phénomène représente cependant une faible partie de l'élimination totale en traitement principal. Il peut être non négligeable en traitement tertiaire où le flux de matières polluantes, rapporté aux surfaces plantées, est moins important. Cependant, à la mort de la plante, tout ce qui a été assimilé sera de nouveau libéré dans le système par la décomposition. C'est pourquoi le faucardage des filtres est préconisé.
- On suppose enfin, qu'au niveau de leurs racines, certaines plantes sécrètent des antibiotiques, contribuant ainsi à l'élimination des micro-organismes pathogènes. Peu d'investigations à caractère fondamental, sont conduites sur cet aspect, il semble cependant qu'un travail de recherche original et récent l'aborde (Vincent *et al.* 1994). On peut cependant s'interroger sur la compatibilité de ces assertions qui concernent *Escherichia coli* avec l'effet stimulant vis à vis d'autres micro-organismes non pathogènes responsables des phénomènes de dégradation de la matière organique.

Le choix des différentes espèces de plantes ne semble pas être fondamentalement déterminant pour l'efficacité du traitement car on ne remarque aucune influence directe sur le degré d'élimination des matières en suspension, de la DBO<sub>5</sub> et du phosphore. Ceci confirme le fait que les processus d'épuration dans les filtres sont avant tout physico-chimiques et microbiens.

L'élimination de l'azote est linéairement reliée à la biomasse végétale produite, puisque pour une même quantité de biomasse produite, on ne constate pas de différence majeure entre les quantités d'azote absorbées par les plantes. Toute différence significative entre les différentes espèces réside en leur faculté de production de biomasse. Plus une espèce produit de biomasse, plus elle emmagasine de composés azotés.

Enfin, il faut citer l'importance des plantes comme élément permettant d'intégrer les installations de traitement dans le paysage. En effet, les sites retenus en zone rurale pour l'implantation des installations de traitement sont souvent situés à l'écart des hameaux dans des zones où une végétation de type zone humide est déjà présente ou, tout au moins, ne dénote pas.

De même, la présence de plantes confine les odeurs d'eau usée à proximité du sol, de surcroît lorsqu'elle est délivrée en état de septicité avancée au débouché du réseau d'assainissement, sous le couvert des végétaux. Lors de l'alimentation avec des eaux brutes des filtres verticaux, les processus de dégradation aérobie démarrent instantanément après l'alimentation et si les eaux usées n'ont effectué qu'un court séjour dans le réseau, des conditions peu génératrices d'odeurs sont ainsi créées.

La grande acceptabilité d'un tel dispositif par le public est un atout majeur et non négligeable.

### **1.2.3. Rôle des micro-organismes**

Le principal rôle des micro-organismes est, comme dans tout procédé de traitement biologique, la dégradation de la matière organique. Ce sont eux qui assurent les différents

processus d'oxydation et de réduction. Ils génèrent grâce à la dégradation de la matière organique l'énergie nécessaire à la biosynthèse. Ils minéralisent les composés azotés et phosphorés, et les rendent ainsi assimilables par les plantes. Ils assurent également les réactions de nitrification/dénitrification.

Ils ont besoin d'un support de fixation pour se développer et ne pas être entraînés par les eaux usées ; celui-ci est assuré par les plantes (surtout leurs organes souterrains) et le matériau.

La dégradation de la matière organique par les micro-organismes est productrice de biomasse bactérienne qui doit être à son tour dégradée pour éviter le colmatage.

### 1.3 LES MECANISMES D'ELIMINATION ET LES PERFORMANCES EPURATOIRES

Les mécanismes d'élimination sont régis par les processus physiques, chimiques, physico-chimiques ou encore biologiques qui sont résumés dans le tableau qui suit.

Polluants	Mécanismes d'élimination
Matières en suspension	Filtration
Matière organique	Dégradation microbienne aérobie Dégradation microbienne anaérobie
Composés azotés	Ammonification suivie d'une nitrification et d'une dénitrification microbiennes Volatilisation de l'ammoniac Assimilation végétale Adsorption sur la matrice
Phosphore	Adsorption sur la matrice Assimilation végétale
Métaux	Adsorption et échange de cations Complexation Précipitation Assimilation végétale Oxydoréduction microbienne
Micro-organismes	Filtration Mort naturelle Prédation Sécrétion d'antibiotiques par les racines des macrophytes

Tableau 2. Principaux mécanismes d'élimination des différents types de polluants.

Les paragraphes qui suivent donnent de façon synthétique un ordre de grandeur des concentrations de sortie des différents paramètres. Celles-ci ont été estimées en calculant des moyennes à partir de données de la littérature ; elles n'ont donc qu'une valeur indicatrice. Quant au rendement d'élimination, il n'a pu être calculé à partir des flux à cause du manque de données concernant les débits disponibles. Les résultats obtenus avec les concentrations sont souvent déjà très bons, ils auraient été encore meilleurs calculés à partir des flux car, à moins de fortes précipitations, le débit à la sortie des filtres est inférieur ou égal au débit d'entrée du fait de l'évapotranspiration. Les concentrations de sortie auraient donc été, à débit égal, plus faibles.

Dans l'annexe 3 nous avons regroupé les résultats des installations trouvées dans une littérature abondante. Il s'agit de résultats d'installations différentes pour ce qui concerne la configuration et l'effluent traité :

	Horizontal	Vertical	Hybride
eaux brutes	1	3	2
eaux décantées	34	1	3
eaux traitement biologique	6	1	

La composition hétérogène de cet échantillon n'autorise pas une comparaison entre les performances des différents types d'application. Nous nous contentons donc de donner des fourchettes de valeurs.

Il faut noter que les performances s'améliorent pendant les 2 à 3 années après la mise en service pour se stabiliser ensuite à un niveau élevé.

### 1.3.1. Les matières en suspension

Les matières en suspension sont retenues par *filtration*.

Dans les filtres horizontaux, l'accumulation a lieu dans les premiers mètres du filtre, ce qui peut entraîner un colmatage. Pour éviter cela, une décantation primaire doit être mise en place en amont du système pour éliminer les matières pouvant sédimenter. Les matières colloïdales sont retenues au sein du système, au moins en partie, et sont dégradées par les bactéries ou adsorbées à d'autres solides.

Dans les filtres verticaux, les matières en suspension s'accumulent à la surface du filtre où elles forment une croûte superficielle. Celle-ci pourrait gêner l'infiltration des eaux sans la présence des macrophytes qui empêchent le colmatage du filtre.

On peut penser que, dans des filtres suffisamment filtrants, la totalité des matières en suspension entrante est retenue par filtration. Les matières en suspension qui sortent du filtre sont probablement, en grande partie, des particules générées dans les filtres et emmenées par la circulation d'eau. Ce processus d'entraînement conduit à une concentration en sortie de l'ordre de 10 à 20 mg/l qui est relativement indépendante de la concentration à l'entrée. A titre d'illustration la figure 3 montre la faible corrélation qui existe effectivement entre les concentrations entrée et sortie des filtres à écoulement horizontal.

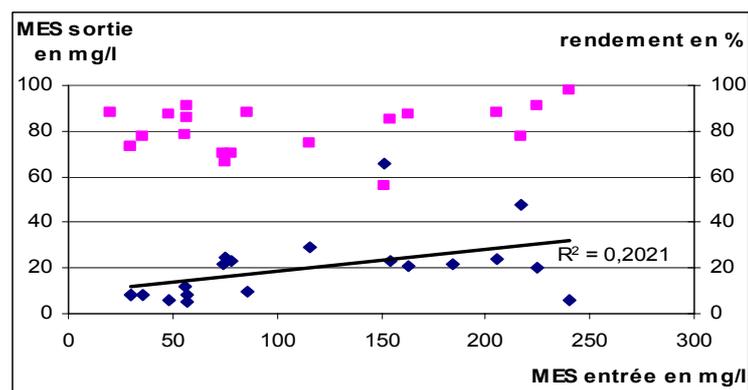


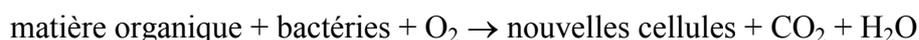
Figure 3 : Rendement et concentration de sortie des MES en fonction de la concentration des eaux brutes pour des filtres horizontaux.

*A la sortie des filtres plantés de macrophytes on obtient des concentrations en matières en suspension de l'ordre de 10 à 20 mg/l.  
Lorsqu'on alimente les filtres avec des eaux brutes ou décantées, on obtient des rendements de l'ordre de 95 %.*

### 1.3.2. La matière organique

La matière organique est dégradée par des bactéries hétérotrophes aérobies ou anaérobies.

La *dégradation aérobie* transforme la matière organique en biomasse bactérienne et en éléments minéraux simples :



Les nouvelles cellules ainsi formées seront dégradées à leur tour.

La *dégradation anaérobie* est limitée par la présence d'oxygène. C'est pourquoi elle peut avoir lieu dans les filtres horizontaux, saturés en eau en permanence et où des zones dépourvues d'oxygène existent à proximité de zones aérobies, et très peu dans les filtres verticaux.

Les champignons et les actinomycètes dégradent les grosses molécules organiques en plus petites, que les bactéries dégradent à leur tour.

De même que pour les MES, les matières organiques sortant de ces systèmes très extensifs sont probablement en grande partie composées de métabolites générés dans les massifs filtrants plus que des résidus des matières contenues dans les eaux usées. La figure 4 montre cette relative indépendance entre les concentrations entrée et sortie.

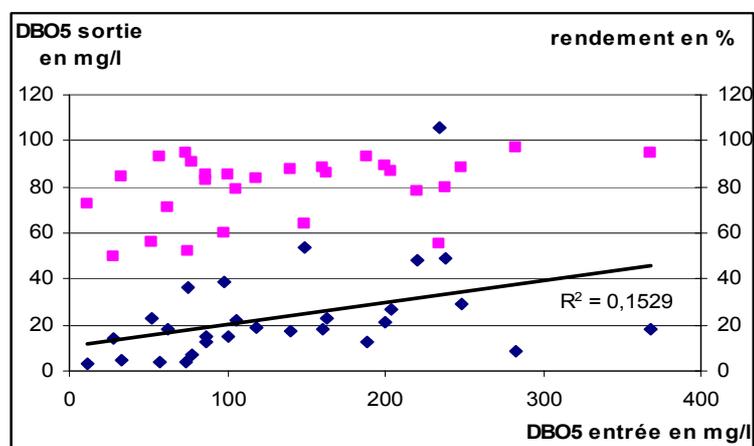


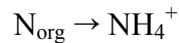
Figure 4 : Rendement et concentration sortie de la DBO5 en fonction de la concentration des eaux brutes.

On observe d'ailleurs sur ce graphique que même pour les eaux très peu concentrées les rendements sont appréciables. Avec un système à boues activées de tels rendements sont difficilement obtenus pour les eaux diluées.

*Les concentrations en DBO<sub>5</sub> relevées à la sortie des filtres horizontaux ou verticaux en traitement secondaire varient de 5 à 25 mg/l. En traitement tertiaire, on peut obtenir des concentrations de l'ordre de 5 mg/l.*

### 1.3.3. L'azote

L'*ammonification* est la minéralisation de l'azote organique en ammoniac. Elle a lieu aussi bien en milieu aérobie qu'anaérobie.



Dans des conditions aérobies, l'azote ammoniacal est oxydé en nitrites puis en nitrates par des bactéries nitrifiantes ; c'est la *nitrification*. De faibles teneurs en oxygène ralentissent la réaction, c'est pourquoi les filtres horizontaux n'assurent pas de manière significative ce processus. Les filtres verticaux sont eux, par contre, de grands producteurs de nitrates.

La *dénitrification*, c'est à dire la réduction des nitrates en composés gazeux (NO, N<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub>), a lieu, elle, dans des conditions d'anoxie (absence d'oxygène, mais présence de nitrates). Elle ne se produit donc pas, ou très peu, dans les filtres verticaux. Les bactéries dénitrifiantes sont hétérotrophes, elles ont donc besoin de matière organique pour se développer. Or, comme la dénitrification n'intervient qu'après la nitrification qui elle-même n'a lieu qu'après la dégradation de la matière organique, elles ne peuvent jouer pleinement leur rôle que grâce à des systèmes complexes de recirculation des eaux riches en nitrates qui doivent être renvoyées en tête de traitement où se trouve la matière organique. C'est pourquoi la dénitrification ne peut pas être un objectif principal de l'épuration par les systèmes verticaux si dans le même temps on souhaite conserver leur caractère «rustique». Dans les filtres horizontaux, la rhizosphère crée un milieu hétérogène où les zones aérobies, anoxies et anaérobies se côtoient ce qui permet à la nitrification et à la dénitrification d'avoir lieu consécutivement dans des zones très proches mais très restreintes du point de vue spatial.

La *volatilisation de l'ammoniac* est fonction du pH. Les proportions entre les formes NH<sub>3</sub> et NH<sub>4</sub><sup>+</sup> sont équilibrées pour un pH égal au pKa de l'ammonium (9,3). Au-delà, c'est la forme volatile (NH<sub>3</sub>) qui prend le dessus, en deçà, c'est la forme dissoute (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) qui est majoritaire. Or dans les filtres, les pH sont proches de la neutralité, ce phénomène est donc négligeable.



Photo 3 : Malgré une production végétale importante l'exportation des nutriments est modeste.

Une partie des *ions ammonium est adsorbée sur la matrice*, mais cette adsorption n'est que temporaire. Durant les périodes de repos des filtres verticaux le  $\text{NH}_4^+$  est oxydé en  $\text{NO}_3^-$  et en  $\text{NO}_2^-$ , qui sont entraînés par lessivage lors de la remise en eau du bassin. C'est à ces moments que l'on observe de fortes concentrations de nitrates en sortie.

*Les plantes assimilent l'azote* sous sa forme minéralisée. L'azote peut donc être exporté par la fauche. Cependant la fraction éliminée ainsi est faible. En effet, on peut exporter dans le cas d'une fauche annuelle au maximum 2 500 kg N par ha et par an (Brix et Schierup 1989). Or, en traitement principal on apporte 10 000 à 20 000 kg par ha et par an. Seulement environ 10 % de l'azote peuvent donc être exportés par les plantes.

*Pour le paramètre "azote", les comportements des filtres verticaux et horizontaux sont totalement différents.*

*Les filtres verticaux assurent une bonne nitrification avec 75 à 95 % de rendement sur l'azote ammoniacal et des concentrations de sortie de l'ordre de 5 mg/l. Les systèmes hybrides nitrifient également, puisqu'ils sont composés d'au moins une unité de traitement verticale. Les filtres horizontaux quant à eux atteignent difficilement les 50 % de nitrification à cause d'un manque d'oxygène disponible.*

*Par contre, en ce qui concerne l'abattement de l'azote total, les filtres verticaux ne dépassent pas les 35 % quand les filtres horizontaux atteignent les 50 % avec 25 mg N/l en moyenne dans l'effluent. En effet, les nitrates formés y sont réduits par dénitrification. En revanche, les eaux qui sortent des filtres verticaux présentent d'importantes concentrations en nitrates.*

#### **1.3.4. Le phosphore**

Dans les eaux usées, le phosphore est présent sous formes de poly-phosphates, de phosphore organique et d'ortho-phosphates. Les deux premières formes sont hydrolysées en ortho-phosphates ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ) par l'action des micro-organismes.

Dans les zones humides naturelles, le phosphore est retenu principalement sur les sédiments ou la tourbe, mais la capacité de stockage du sol est très inférieure à celle des écosystèmes terrestres.

Dans les filtres plantés de macrophytes, il est *adsorbé aux oxydes de fer, d'aluminium et à la calcite de la surface de la matrice* par des réactions d'échange de ligands. C'est pourquoi, certains concepteurs ajoutent des composants tels que de la limaille de fer, de l'argile ou de la chaux pour augmenter la capacité de rétention du support.

La plante assimile le phosphore pour ses tissus en croissance, l'exportation potentielle s'élève à 30 à 150 kg P par ha et par an (Brix et Schierup 1989). Cependant, le rapport P/N dans les eaux usées brutes est largement supérieur à celui de la biomasse végétale et la fraction pouvant être exportée est donc négligeable, nettement en dessous de 10 %.

On observe presque toujours des rendements élevés durant les premiers temps après la mise en service des filtres (adsorption sur le matériau), mais ils vont rapidement devenir quasiment nuls dès lors que tous les sites d'adsorption du support minéral seront saturés.

*Les rendements obtenus pour le phosphore total varient de 5 à 95 %. Cependant les valeurs les plus courantes se situent autour de 40 % et les concentrations de sortie descendent rarement en dessous des 3 mg/l. Les filtres plantés de macrophytes ne sont donc pas adaptés lorsqu'une réduction considérable des teneurs en phosphore est exigée.*

### **1.3.5. Les métaux**

Dans les eaux usées, on trouve les métaux sous forme soluble ou particulaire. Les formes particulières sont retenues par *filtration*. Les formes solubles sont éliminées, par principalement deux mécanismes. D'une part, les métaux *précipitent* sous forme d'oxydes et de sulfides métalliques grâce à, respectivement, des bactéries métal-oxydantes dans les zones aérobies et des bactéries sulfato-réductrices dans les zones anaérobies. Ils sont ensuite retenus dans la matrice du filtre. D'autre part, à l'interface racine/sédiment, on rencontre de forts gradients rédox qui provoquent la précipitation d'hydroxydes ferriques complexes. Ceux-ci s'accumulent dans la rhizosphère formant une sorte de gaine autour des racines. Elle constitue une barrière efficace contre l'assimilation végétale et favorise la *co-précipitation* avec d'autres métaux lourds dans la plaque d'hydroxyde ferrique.

### **1.3.6. Les micro-organismes d'origine humaine**

Les micro-organismes sont retenus par *filtration*, puis décimés soit par *prédation*, soit par des *biocides* émis par les racines des plantes, soit par *mort naturelle*, et enfin éliminés par *dégradation avec la matière organique*.

Soto et al. (1998) ont observé dans des dispositifs de petite échelle (1 m<sup>2</sup>) une meilleure élimination dans des filtres plantés que dans des filtres non plantés.

Le temps de séjour de l'eau dans le système est également un paramètre essentiel comme l'ont démontré à échelle de petites pilotes Khatiwada et al (1998) : le rendement d'élimination de coliformes fécaux passant de 58% à plus de 99% pour des temps de transit moyen de respectivement 1.5 et 6 jours. En effet, les bactéries d'origine humaine sont placées dans un milieu très différent de celui dans lequel elles prolifèrent normalement et un séjour prolongé dans des conditions "inadaptées" limite les chances de survie.

Dans l'installation de Curienne on observe de grandes disparités de d'élimination des coliformes fécaux entre l'été (plus de 3 unités logarithmiques ) et l'hiver (1 à 2 unités logarithmiques). Ceci peut être dû à plusieurs phénomènes :

- le métabolisme des micro-organismes est plus intensif à température élevée : les conditions du milieu sont peu favorable à une reproduction de ces organismes d'origine humaine et ce métabolisme actif conduit donc à une autolyse plus rapide.
- l'activité métabolique générale qui diminue en hiver dans la rhizosphère avec la chute des températures, il y aurait donc moins d'«antibiosis»" sécrétés et moins de prédation bactérienne.

En post-traitement d'un effluent de lit bactérien (Coombes *et al.* 1995) ont observé un abattement de 99% et des concentrations à la sortie de  $10^3$  et  $10^5$  E.Coli par 100 ml. Ici les abattements hivernaux étaient plus élevés que les abattement estivaux.

Les rendements sont aussi fonction du système de filtre choisi (vertical, horizontal). Si pour les filtres horizontaux l'abattement sur les coliformes fécaux est en été supérieur à 99 %, les filtres verticaux ne sont pas particulièrement performants pour l'élimination des germes pathogènes en raison du temps de transit beaucoup plus coûteux dans ces filtres. C'est pourquoi, si le niveau de rejet exigé tient compte de la qualité bactériologique, il faudra soit opter pour des filtres horizontaux soit rajouter un filtre horizontal en aval du filtre vertical et donc mettre en place un système hybride.

*L'abattement des micro-organismes d'origine humaine peut dans des filtres horizontaux atteindre 3 unités logarithmiques dans des conditions estivales.*

## 2 CONTRAINTES TECHNIQUES

### 2.1 CONTRAINTES AMONT

L'applicabilité du dispositif de filtres plantés de macrophytes dépend de l'importance du flux à traiter. Le choix du type de filtre (horizontal ou vertical) ainsi que les aménagements annexes nécessaires sont fortement déterminés par le type d'eaux à traiter (eaux brutes, eaux issues d'une décantation primaire ou d'un traitement biologique).

#### 2.1.1. Importance du flux à traiter

En traitement principal ou secondaire, la population raccordée au réseau ne devrait pas dépasser 2 000 habitants dans les conditions françaises. Au-delà, il ne s'agit pas d'incompatibilité technique majeure, mais plutôt de surfaces nécessaires qui deviennent trop importantes et surtout de coût d'investissement élevé. En effet, puisque de nombreux éléments de la station comme la surface, la quantité de matériau sont directement proportionnels aux débit et flux à traiter, ils induisent des frais variables qui augmentent avec la taille de la station. On ne peut donc pas descendre en dessous d'un certain seuil de coût par équivalent habitant qui n'est plus compétitif avec celui des stations classiques. Toutefois la comparaison des solutions devra prendre en compte l'ensemble des éléments de coût (investissement et exploitation ainsi que des éléments de performance et de fiabilité).

En traitement tertiaire, on peut avoir des dispositifs de capacité légèrement supérieure. Dans certains cas exceptionnels, des installations ont été construites pour admettre les effluents de 10 000 à 15 000 E.H. (cas de Lallaing 59). Cependant, les systèmes mis en place pour recevoir de telles quantités d'effluents sont relativement complexes et nécessitent des surfaces beaucoup plus importantes. En outre, le faucardage annuel peut représenter une contrainte d'exploitation très lourde sachant qu'il convient non seulement de couper mais surtout d'extraire, de détruire ou de valoriser la végétation du site.

Il n'y a pas a priori de limite inférieure au dimensionnement de ces systèmes. Les petites installations pourront même être largement simplifiées tant dans les systèmes d'alimentation et de collecte, que dans le nombre de bassins ou le système de rejet. En Allemagne (Basse Saxe et Bavière), il existe 3 000 installations inférieures à 50 EH. Il s'agit de filtres horizontaux précédés d'une fosse septique. En effet l'absence d'eau libre en surface paraît important pour ces installations situées à proximité des habitations.

Pour les filtres verticaux alimentés en eaux usées brutes, le nécessaire dispositif d'alimentation par bâchées est cependant soumis à des contraintes de miniaturisation qui peuvent rendre son fonctionnement aléatoire, des petites canalisations ont naturellement tendance à se boucher plus facilement. Un compromis consistant à mettre en place une décantation préalable en fosse septique toutes eaux et à disposer sur les filtres du premier étage une couche de sable, assurant conjointement avec une filtration plus fine une réduction de la perméabilité

superficielle, a pu être trouvé pour une alimentation gravitaire "au fil de l'eau". Ce dispositif a été expérimenté depuis 1994, avec succès pour l'instant, en traitement des eaux de lavage de salles de traite qui représentent souvent une charge polluante de moins de 10 équivalents habitants.

*La fourchette de dimensionnement la plus répandue est de 250 à 1000 habitants. Cependant, le procédé peut être adapté à une capacité inférieure. Une conception pour des communes jusqu'à 2 000 habitants reste raisonnable.*

### **2.1.2. Type de réseau d'assainissement alimentant la station**

Le dimensionnement des dispositifs de filtres plantés est basé en partie sur des critères hydraulique ; la station devra donc être dimensionnée en fonction du débit d'alimentation prévu. En conséquence, un réseau unitaire entraînera un dimensionnement, et donc des coûts, plus importants qu'un réseau séparatif.

Toutefois, le choix d'un dispositif de filtration ne justifie pas économiquement, à lui seul, la mise en séparatif du réseau s'il est unitaire. En effet, le dimensionnement requis pour tenir compte du débit par temps de pluie n'est pas proportionnel à ce débit, compte tenu de l'effet tampon que peut constituer un stockage momentané sur les bassins. Ce stockage permet d'absorber des pics de débits temporaires tout en relargant à débit relativement constant après une submersion de courte durée.

D'ailleurs, dans les pays avec forte présence de filtres plantés, la présence de réseaux unitaires est très fréquente (Allemagne, Royaume Uni, notamment).

Les réseaux qui drainent beaucoup d'eaux claires et qui posent souvent problème en cas de traitement classique, ne sont pas incompatibles avec les filtres plantés. En effet, même très diluées les eaux se laissent correctement traiter par ce genre de dispositif.

En ce qui concerne la charge hydraulique applicable au système en traitement tertiaire, les filtres peuvent absorber des pics de débit temporaires et relarguer à débit relativement constant après une submersion de courte durée. De plus, dans les filtres horizontaux (qui sont généralement utilisés en traitement tertiaire) comme le niveau d'eau est réglable, il peut être ajusté de manière à éviter tout débordement en diminuant le temps de séjour.

*Dans le dimensionnement des filtres, il est nécessaire de tenir compte de la réelle hydraulicité du réseau. Un réseau unitaire conduit à un dimensionnement plus important qu'un réseau séparatif, mais n'est pas incompatible avec les dispositifs de filtres plantés.*

### **2.1.3. Les différents types d'eaux à traiter**

On peut différencier plusieurs types d'eaux: les eaux usées brutes, les eaux usées décantées, les eaux issues d'un traitement biologique et enfin, les eaux de pluie.

a) Les eaux brutes

Les eaux brutes peuvent être admises directement sur les filtres verticaux. Cette option, qui reste marginale en Europe, est cependant souvent prise en France. Les eaux subissent uniquement un dégrillage grossier et éventuellement un dessablage et un déshuilage.

Les filtres horizontaux, qu'ils soient constitués de sable ou de sol en place, ne peuvent pas recevoir des eaux aussi concentrées car cela entraînerait un colmatage de la zone d'entrée et par la suite un écoulement superficiel. Une réduction de la teneur en MES par une décantation primaire ou filtre vertical est nécessaire.

Dans le cas des filtres horizontaux remplis de graviers, le colmatage sera moins rapide et des périodes de repos pourraient permettre aux bactéries de dégrader la matière organique retenue dans le matériau. Le site de Curienne réalisé selon ce principe (cf. fiche de cas «Curienne») est actuellement à l'étude mais les résultats ne sont pour l'instant pas concluants.

#### b) Les eaux décantées

Les eaux décantées peuvent être admises sur les filtres verticaux, cependant, le matériau de remplissage ne sera pas le même que pour traiter des eaux brutes ; il faut trouver un juste et délicat équilibre entre le risque de colmatage et une filtration efficace.

Les filtres horizontaux sont alimentés la plupart du temps par des eaux décantées sans précautions particulières.

#### c) Les eaux issues d'un traitement biologique

Les eaux issues d'un traitement biologique présentent de plus faibles concentrations en matières en suspension et en matière organique. Le rôle des filtres plantés de macrophytes est alors de compléter la dégradation de la matière organique et l'élimination des matières en suspension résiduelles, d'assurer une nitrification et/ou une dénitrification, une déphosphatation partielle, et éventuellement une décontamination.

Un filtre vertical peut être utilisé. Il permettra d'assurer une nitrification presque totale s'il est bien dimensionné. La dénitrification sera en revanche négligeable.

Un filtre horizontal garantit une faible nitrification mais une bonne dénitrification à condition que les eaux soient encore suffisamment riches en matière organique.

Si le but principal est l'affinage du traitement des matières en suspension et de la matière organique, on pourra privilégier un filtre horizontal. Ses performances sont à peu près identiques à celles des filtres verticaux, mais en traitement tertiaire les conditions opératoires sont moins coûteuses et moins contraignantes (faucardage des roseaux inutile, pas d'alimentation alternée ni par bâchées, dénivelé moins exigeant pour un fonctionnement en gravitaire...).

Globalement, par rapport à d'autres systèmes, même les filtres à sable, les filtres à macrophytes sont moins affectés par les dysfonctionnements du traitement biologique en amont (relargage de concentrations élevées en matières en suspension et DBO<sub>5</sub>) et sont capables d'assumer une partie du traitement manquant. Les filtres plantés de macrophytes,

notamment les horizontaux, constituent donc de bons milieux tampon avant le rejet dans un milieu récepteur sensible.

d) Les eaux pluviales ou les eaux de déversoir d'orage

Il s'agit de traiter les eaux usées de réseaux unitaires par temps de pluie ou les eaux pluviales des réseaux séparatifs.

Pour les eaux usées des réseaux unitaires, une cinquantaine d'installations ont été mises en place en Grande Bretagne essentiellement, pour traiter les eaux du déversoir d'orage au bout de réseau (Green et Martin, 1996). Parmi les différentes configurations possibles les deux fréquemment rencontrées sont :

- le traitement des surverses par un filtre spécifique (dimensionné à 0.5 m<sup>2</sup>/EH) situé parallèlement à la station d'épuration biologique. Ce filtre nécessite par temps sec d'être alimenté par de l'effluent de la station pour entretenir la végétation.
- le traitement des surverses par un filtre qui joue par temps sec le rôle de post-traitement de l'effluent sortant du traitement biologique et qui, par temps de pluie prend en plus en compte les surverses (dimensionné à 1 m<sup>2</sup>/EH).

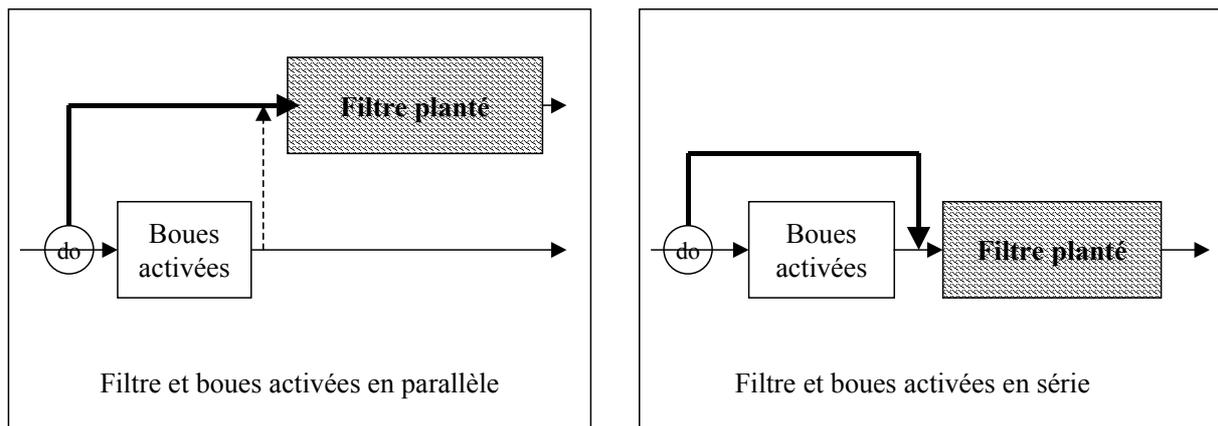


Figure 5 : Schéma de deux configurations pour le traitement du débit par temps de pluie par filtres.

Les débits pris en compte par ces filtre s'élèvent à 6 fois le débit moyen temps sec, sachant que classiquement un débit de 3 fois le débit moyen temps sec est pris en compte par la station. La qualité de l'effluent des filtres est excellente : la concentration de DBO5 est inférieure à 15 mg/l malgré des pics dans les eaux de surverse supérieurs à 200 mg/l.

Peu de réalisations existent qui concernent le traitement des eaux issues exclusivement de la partie pluviale d'un réseau séparatif. Quelques essais ont été effectués pour le traitement des eaux de ruissellement des autoroutes, en particulier au niveau de l'abattement des métaux lourds, mais il s'agissait alors de filtres plantés de macrophytes à écoulement en surface.

*Les eaux brutes peuvent être traitées par des filtres verticaux. Les eaux issues d'un traitement primaire, d'un traitement biologique ou bien les eaux de pluie peuvent être traitées indifféremment par l'un ou l'autre système en fonction de l'objectif de qualité requis.*

## 2.2 CONTRAINTES DE SITE

### 2.2.1. Surface disponible

La surface de traitement nette nécessaire pour ces systèmes est supérieure à celle des systèmes de traitement classiques (boues activées, lit bactérien, par exemple), mais inférieure à la superficie nécessaire au lagunage. Elle est de l'ordre de  $2.5 \text{ m}^2/\text{E.H.}$  pour les filtres verticaux à 6 ou  $8 \text{ m}^2/\text{E.H.}$ , pour les filtres horizontaux, contre 10 à  $15 \text{ m}^2/\text{E.H.}$  pour le lagunage naturel.

Cependant à cette surface utile de traitement il faut ajouter celle occupée par les digues qui doivent permettre aux engins d'accéder aux bassins pour les divers travaux d'entretien. Ce n'est pas une économie que de réduire ces surfaces dans la mesure où l'entretien sera facilité par la suite et donc moins onéreux. Les surfaces brutes sont donc supérieures notamment pour les filtres de petite capacité (figure 5). L'accessibilité de petits ouvrages peut cependant être suffisante par l'amont et l'aval et en minimisant l'espace inter bassins à une simple cloison de séparation pour les filtres en parallèle d'un étage de filtres plantés verticaux.

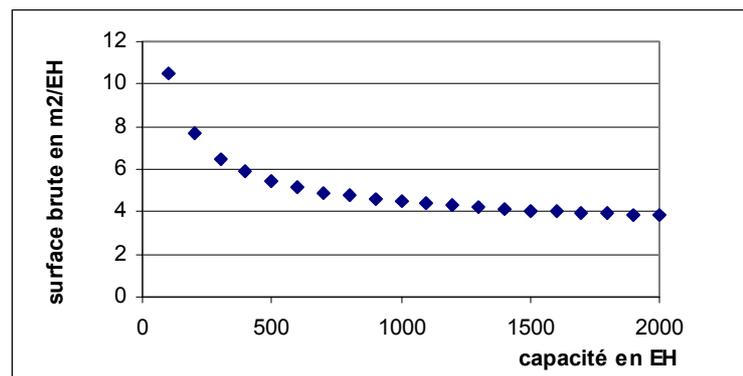


Figure 6 : Surface brute nécessaire pour des filtres verticaux (2 étages) en fonction de la capacité.

*Il faut compter environ  $4 \text{ à } 8 \text{ m}^2/\text{E.H.}$  pour les filtres verticaux et  $8 \text{ à } 9 \text{ m}^2/\text{E.H.}$  pour les filtres horizontaux.*

### 2.2.2. Caractéristiques du terrain

Pour des questions de coûts, il est préférable que la station se situe au point le plus bas du réseau d'évacuation des eaux usées, sur un terrain en légère pente afin que l'écoulement entre les bassins puisse être gravitaire. Pour cela, il faut un minimum de 4 m de dénivelé entre l'entrée et la sortie pour les filtres à écoulement vertical.

En l'absence de pente suffisante il faudra ajouter un poste de relevage qui nécessite alors le raccordement de la station à une ligne électrique. Ceci se traduira par des coûts d'exploitation plus élevés. Cependant, on peut profiter de la présence d'électricité pour automatiser la

maintenance et diminuer ainsi le temps de présence sur la station (automatisation de l'alternance d'alimentation des bassins, dégrillage automatique,...). Cela ne réduira pas pour autant le coût d'exploitation puisque la présence d'équipements électromécaniques demande une inspection soignée de chaque appareil lors des visites et un entretien régulier par une main d'œuvre qualifiée, dont le coût horaire est plus élevé.

Quant à la géologie, un terrain argileux est favorable puisqu'un compactage simple mais soigné étanchéifie le système et épargne le coût d'une géomembrane et d'un géotextile antipoinçonnement.

D'un autre côté si une dispersion dans le sol peut constituer un exutoire adapté (absence de milieu récepteur superficiel ou contrainte de qualité trop restrictive), un sol suffisamment perméable peut constituer le massif filtrant du dernier étage de traitement, réduisant ainsi l'apport de matériau de remplissage. Les qualités hydrodynamiques de ce sol doivent toutefois avoir été préalablement contrôlées pour adapter le dimensionnement. Le cas échéant, il pourra être remanié pour répondre aux exigences imposées.

*Les filtres plantés de macrophytes peuvent être installés sur presque tous les types de terrains, cependant, certains offrent de meilleures conditions à l'installation. En effet, une légère pente permet d'alimenter les filtres de façon gravitaire mais une alimentation par pompage peut être adaptée.*

*De même, un sol argileux évite la pose d'une membrane pour imperméabiliser les bassins, mais un sol très perméable peut être utilisé comme massif filtrant pour le dernier étage de traitement.*

### **2.2.3. Conditions climatiques**

Elles ne sont a priori pas un facteur critique dans la mesure où elles ne sont pas extrêmes.

Les filtres horizontaux supportent sans problème de longues périodes de gel. Il peut être intéressant de laisser la végétation en place après la fauche d'automne. Avec la neige, elle constitue un excellent isolant et l'expérience, notamment en République Tchèque (Vymazal 1998) et Norvège (Moehlum et Jenssen 1998), a montré que plusieurs mois consécutifs de gel n'affectent pas le traitement.

Les systèmes verticaux supportent également des périodes de gel à condition de prévoir des pentes de canalisation suffisantes afin d'éviter la stagnation d'eau qui pourrait geler et donc gêner l'alimentation et endommager la tuyauterie. La durée et l'importance des périodes de gel que peuvent supporter ces systèmes n'ont cependant pas encore fait l'objet d'études suffisamment argumentées pour déterminer, par exemple, l'incidence du faucardage postérieurement à la période froide en utilisant les potentialités d'isolation thermique de la végétation flétrie qui peut constituer un "matelas" protecteur en surface des filtres, comme cela est mentionné ci-avant pour les filtres horizontaux.

Pour de courts épisodes pluvieux, le système est capable d'absorber des variations de débit passagères. Si la région est particulièrement pluvieuse, le dimensionnement se fera sur une

base hydraulique par estimation du débit par temps de pluie.

*Le climat doit être pris en compte en ajoutant des facteurs de sécurité pour le dimensionnement. Il peut nécessiter également quelques aménagements spécifiques. En France, seuls des climats extrêmes (haute montagne) ne permettront pas d'installer ce type de station.*



Photos 4 et 5 : Les filtres verticaux de Queige en conditions hivernale et estivale

#### **2.2.4. Besoin en personnel d'exploitation**

L'exploitation et l'entretien de la station ne demandent pas de qualification particulière. Il est cependant primordial que l'exploitant envisagé connaisse le principe de fonctionnement du système en place et comprenne ainsi l'importance des tâches qui lui sont demandées avec régularité. Cette sensibilisation pourra être accompagnée d'une information sur les problèmes d'hygiène et de salubrité, ainsi que pour les consignes de sécurité à respecter. Il est inutile de faire appel à du personnel extérieur, un employé communal motivé et consciencieux pourra s'en charger. Seuls les équipements électromécaniques pourront nécessiter l'intervention de personnel spécialisé mais pour des actions ponctuelles de réparation uniquement.

Pour la sécurité du personnel, celui-ci doit être vacciné contre l'Hépatite A, la leptospirose et la typhoïde. Certaines vaccinations obligatoires comme le BCG, l'Hépatite B et le D.T.Polio doivent impérativement être mises à jour.

L'entretien ne doit en aucun cas être négligé même s'il est réduit et peut donc apparaître comme secondaire. Le bon fonctionnement de la station et sa pérennité dépendent de la qualité et de la régularité de l'entretien.

*Il est inutile de faire appel à une entreprise spécialisée, un employé communal peut assurer l'entretien et l'exploitation de la station, comme c'est le cas sur la plupart des installations.*

### 2.3 CONTRAINTES AVAL

Lorsque le milieu récepteur exige un niveau de qualité en termes de MES, DBO5 et DCO dit «minimum» dans l'arrêté du 22 décembre 1994 : 35 mg MES/l, 25 g DBO/l et 125 mg DCO/l, les filtres plantés de macrophytes permettent d'y répondre. Ce niveau, ainsi que celui D4 de la circulaire du 17 février 1997 concernant les prescriptions techniques pour la collecte et le traitement des eaux usées pour des charges polluantes de 12 à 120 kg DBO5, peut être obtenu avec ces dispositifs.

Si la nitrification est une nécessité, la mise en place d'un filtre vertical sera généralement indispensable.

Une dénitrification poussée et une déphosphatation sont difficiles à garantir. Toutefois, on peut se demander si ces paramètres sont des cibles pertinentes pour beaucoup de petites collectivités. Un dernier étage d'infiltration et dispersion dans le sol sous-jacent, sous réserve d'une étude hydrogéologique garantissant l'innocuité de ce mode de rejet notamment vis à vis des risques de migration de nitrate vers une nappe phréatique, pourrait dans certains cas constituer le meilleur compromis à une telle contrainte.

La réduction limitée (environ 2 unités logarithmiques) des concentrations des germes témoins de contamination fécale ne sera généralement pas suffisant pour la protection des zones de baignades. Pour garantir une telle protection l'infiltration des effluents dans le sol au niveau du dernier étage est souhaitable.

*Les filtres plantés de macrophytes permettent d'assurer le niveau D4 de la réglementation actuelle.*

Les observations du chapitre précédent sont résumées de façon synthétique dans les tableaux suivants.

CONTRAINTES	Eléments à prendre en compte	Critères	Faisabilité	Conditions de faisabilité/contraintes
CONTRAINTES AMONT	Importance du flux à traiter	< 100 E.H.	Bonne	Economie d'échelle et facilité d'exploitation par rapport à un traitement non collectif si les coûts de raccordement sont raisonnables.
		> 100 E.H. et < 2000 E.H.	Optimale	Plus on s'approche de la limite supérieure, plus l'emprise au sol et le coût en font un procédé moins intéressant.
		> 2000 E.H.	Difficile	Le procédé a une capacité à priori illimitée, mais l'emprise au sol et le coût par E.H. le rendent moins compétitif par rapport à une installation classique.
	Type de réseau d'assainissement alimentant la station	Séparatif	Optimale	Prendre en compte toutefois le débit réel en évaluant l'apport d'eaux claires ou d'eau de pluie.
		Unitaire	Bonne	Pas d'incompatibilité en principe, mais le débit attendu doit être pris en compte explicitement.
	Type d'eaux usées à traiter	Brutes ou prétraitées	Bonne pour les filtres à percolation verticale	En aucun cas les filtres horizontaux ne pourront accueillir des eaux brutes. Pour les filtres verticaux, un dégrilleur suffit.
		Décantées	Bonne pour les filtres à écoulement horizontal	La décantation est inutile pour les filtres verticaux. Le matériau filtrant doit en revanche être adapté (plus fin).
		Issues d'un traitement biologique	Bonne	Les filtres à écoulement horizontal sont d'un plus grand intérêt grâce au temps de séjour qui est plus élevé, au matériau plus fin (élimination des MES et des micro-organismes). Une dénitrification y est possible.
		Eaux de pluies ou issues d'un déversoir d'orage	Bonne	Les systèmes semblent adaptés, mais peu d'essais ont été réalisés.

CONTRAINTES	Eléments à prendre en compte	Critères	Faisabilité	Conditions de faisabilité/contraintes
CONTRAINTES DE SITE	Surface disponible	> 10 m <sup>2</sup> /E.H.	Optimale pour les filtres horizontaux	
		> 5 m <sup>2</sup> /E.H.	Optimale pour les filtres verticaux	
		< 4 m <sup>2</sup> /E.H.	Mauvaise	Constitue la limite inférieure pour les filtres verticaux (aménagements annexes compris)
	Caractéristiques du terrain	Relief (2 m)	Optimale	Possibilité d'aménager des terrasses. L'avantage est que la totalité de l'écoulement peut être gravitaire donc aucune consommation d'électricité.
		Aucun relief	Mauvaise	Les dispositifs électromécaniques, alors nécessaires à tous les niveaux, rendent l'installation plus coûteuse à l'investissement et à l'exploitation.
		Terrain argileux	Bonne	Assure une étanchéité naturelle au système à condition d'être parfaitement compacté.
		Sol perméable	Bonne	Peut être utilisé comme matériau de remplissage du dernier étage de traitement. Le premier étage doit être étanchifié.
	Conditions climatiques	Tempéré à montagnard modéré	Optimale	Attention toutefois aux risques de gel qui nécessitent des précautions supplémentaires pour l'installation et la conception des canalisations.
		Montagnard rigoureux	Mauvaise	Les risques de gel sont trop importants, ce qui peut avoir une influence néfaste avant tout sur les plantations.
	Besoin en personnel d'exploitation	Employé communal	Optimale	Un employé communal peut, assurer l'entretien et l'exploitation de la station. C'est un des avantages du système.

CONTRAINTES	Eléments à prendre en compte	Critères	Faisabilité	Conditions de faisabilité/contraintes
CONTRAINTES AVAL	Objectifs d'épuration	Jusqu'au niveau D3	Excellente	Ce niveau correspondant à un effluent de lagune est atteint en permanence.
		Niveau D4	Bonne	Ce niveau peut être atteint assez facilement.
		Nitrification	Bonne	Nécessité de dispositifs verticaux ou hybrides
		Dénitrification	Mauvaise	Sauf en cas d'application d'une récirculation des eaux nitrifiées en tête de station (bassin de décantation primaire, filtre horizontal)
		Déphosphatation	Mauvaise	Sauf en cas d'application de substrats avec des propriétés complexantes.
		Abattement bactériologique	Moyenne	Moyenne dans le cas de filtres horizontaux, faible dans le cas des filtres verticaux à faible épaisseur.

## 3 DIMENSIONNEMENT ET MISE EN OEUVRE

### 3.1 FILTRES HORIZONTAUX

#### 3.1.1. Dimensionnement

La pratique professionnelle, et particulièrement dans le domaine des petites collectivités où la conception des systèmes est encore très empirique et relativement peu précise, veut que l'unité de compte utilisée lors du dimensionnement des ouvrages de traitement est l'équivalent habitant (EH). Dans la bibliographie les valeurs spécifiques caractérisant cet E.H. ne sont pas toujours indiquées et elles peuvent varier d'un pays à l'autre, notamment en raison de la nature des réseaux unitaires ou séparatifs.

Toutefois l'EH est maintenant bien défini au plan réglementaire européen et traduit dans les textes nationaux, il correspond à un flux journalier de DBO<sub>5</sub> de 60 g DBO<sub>5</sub>/j. Nous avons donc adopté la convention de parler en "habitants" (hab.) au lieu de EH si les flux spécifiques sont différents de 60 g DBO<sub>5</sub>/j. Il s'agit alors des habitants raccordés à la station. C'est souvent la donnée la plus fiable au niveau des petites collectivités.

##### a) Surface des filtres

Il existe une relation empirique pour dimensionner les filtres horizontaux (Cooper *et al.*, 1996). Elle détermine la surface du filtre en fonction des paramètres suivants :

- le débit moyen journalier ;
- la concentration moyenne en DBO<sub>5</sub> à l'entrée de la station ;
- la concentration moyenne en DBO<sub>5</sub> souhaitée à la sortie.

Elle s'écrit ainsi :

$$A_s = Q_j (\ln C_{DBO_e} - \ln C_{DBO_s}) / k_{DBO}$$

Avec :

$A_s$  = surface du filtre (m<sup>2</sup>)

$Q_j$  = débit moyen journalier arrivant à la station (m<sup>3</sup>/j)

$C_{DBO_e}$  = concentration moyenne journalière en DBO<sub>5</sub> à l'entrée (mg/l)

$C_{DBO_s}$  = concentration moyenne journalière en DBO<sub>5</sub> souhaitée à la sortie (mg/l)

$k_{DBO}$  = constante (m/j)

$k_{DBO}$  dépend du type d'eaux à traiter (eaux brutes, eaux traitées biologiquement...).

La surface (et, à profondeur égale, le volume) est donc directement proportionnelle au débit. Elle augmente également avec la concentration en DBO<sub>5</sub> à l'entrée (la concentration en sortie étant très faible).

L'application de cette formule conduit, en fonction du type d'eaux à traiter et donc de la

valeur de  $k_{DBO_5}$ , aux surfaces résumées dans le tableau ci-dessous (les calculs ont été réalisés avec comme hypothèses: objectif  $C_{DBO_5} = 10$  mg/l,  $Q_j$  égal à 150 l/j par habitant) :

Type d'eaux	Concentration (DBO <sub>5</sub> mg/l)	$k_{DBO_5}$	m <sup>2</sup> /hab.
Brutes	-	-	-
Décantées	150 - 300	0.1	5
Traitées biologiquement	10 - 20	0.3	1
Surverse de réseau unitaire	-	0.3 - 0.6	0.5 à 1

Tableau 3 : Valeurs de  $k_{DBO_5}$  et de surfaces spécifiques en fonction du type d'eaux à traiter.

Toutefois on peut se demander si l'application des coefficients  $k_{DBO_5}$  pour les différentes eaux à traiter ne comporte pas un risque. En effet, si l'on observe la figure 6, qui a servi à déterminer ce coefficient pour les eaux décantées, on constate d'abord une très importante dispersion des points, qui n'autorise pas la droite régression qui a été insérée. Sachant que la concentration à la sortie est relativement indépendante de la concentration entrée (voir §1.3.2.), cette figure doit plutôt être interprétée de la manière suivante :

- la plupart des systèmes présentent des valeurs de  $\ln C_0 - \ln C_t$  d'environ 1.8 à 2. Cela correspond à des rendements d'environ 85%,
- ce rendement est manifestement quasi indépendant de la charge hydraulique appliquée (l'inverse de  $A_s/Q_j$ ),
- les points correspondant à la charge hydraulique de 3.3 cm/m<sup>2</sup>.j (30 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>.j) représentent probablement des eaux brutes à concentrations différentes. Le rendement pour des eaux peu concentrées est forcément plus faible que pour les eaux concentrées.

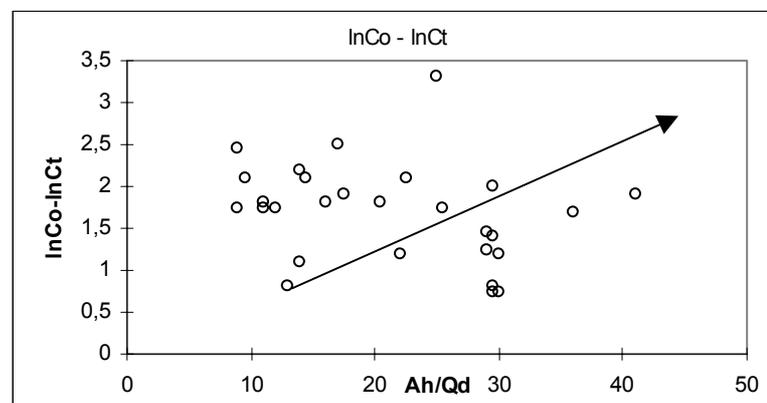


Figure 7 : Détermination de  $k_{DBO_5}$  pour des filtres à écoulement horizontal au Royaume Unie ( $k_{DBO_5}=0.6$ )

Il ne faut donc pas attacher trop d'importance à la constante  $k_{DBO_5}$  ainsi déterminée.

Un autre risque de l'application à la lettre de ce genre de formules est de laisser penser que l'on peut affiner les surfaces en fonction des concentrations de sortie : il est peut-être ambitieux de prétendre que l'on peut prédire, par exemple, une concentration à la sortie de 8.5 mg DBO<sub>5</sub>/l pour une surface de 5.6 m<sup>2</sup>/hab !

Dans l'état actuel des connaissances, il est préférable de se référer directement aux surfaces spécifiques nécessaires par habitant, soit, pour un traitement des eaux décantées :

<p style="text-align: center;"><b>5 m<sup>2</sup> / hab.</b> <b>8 g DBO<sub>5</sub>/m<sup>2</sup>. jour</b> <b>5 cm / jour</b></p>
--

L'expérience montrera si dans l'avenir il est nécessaire d'adapter ces valeurs dans un sens ou dans un autre.

#### b) Nombre d'étages

Le nombre d'étages dépend :

- des dispositifs amont et aval prévus pour compléter le traitement,
- de la surface totale des filtres,
- du niveau de rejet demandé.

*En traitement secondaire*, le dispositif est généralement composé de deux étages en série.

*Pour des installations de faible capacité ou pour un traitement tertiaire*, un seul étage peut suffire.

Dans le cas particulier de Curienne (cf. fiche de cas «Curienne») qui assure le *traitement principal*, le système est composé de 3 étages : le premier sert au traitement primaire avec l'abattement de la majeure partie des matières en suspension et le traitement d'une partie de la matière organique. Bien que ce premier étage soit conçu initialement comme filtre à écoulement horizontal, le colmatage de la zone d'entrée fait qu'il fonctionne en réalité comme un filtre vertical à alimentation continu et donc non aéré. Le deuxième est le siège de la dégradation de la matière organique restante et de la nitrification. Le dernier enfin, a un rôle de polissage des eaux ; il assure un début de dénitrification et contribue en partie à l'adsorption du phosphore comme, du reste, les autres bassins.

#### c) Nombre de bassins par étage

Un dispositif de type Kickuth ne nécessite qu'un seul bassin par étage puisque l'alimentation est continue ; ce n'est qu'à partir d'une certaine surface ( $> 500 \text{ m}^2$ ) qu'il est recommandé de subdiviser le filtre en deux bassins alimentés en parallèle pour des questions de répartition de l'effluent ainsi que pour faciliter l'entretien (Geller, 1997).

Un dispositif de type Curienne, où il n'y a aucun traitement primaire, nécessite au moins deux bassins pour la première étage afin d'alterner l'alimentation pour assurer des périodes de repos. Ces périodes de repos permettent aux micro-organismes d'oxyder la matière organique retenue dans le matériau (en grande quantité au niveau du système répartiteur). Le dernier étage ne nécessite qu'un seul bassin car il est alimenté en permanence et par des eaux pauvres en matière organique.

#### d) Profondeur

La profondeur moyenne des filtres est de 60 cm. Elle correspond à la profondeur atteinte par

les rhizomes des roseaux et donc à la hauteur optimale pour le traitement.

Geller (1997) précise que, si l'on utilise du sable comme support, la profondeur du filtre peut atteindre 1 m à condition qu'il soit planté de Phragmites. Par contre, s'il s'agit de gravier (dont la capillarité est inférieure), le filtre ne doit pas faire plus de 50 cm de profondeur, mais diverses espèces macrophytes peuvent alors être utilisées.

#### e) Largeur et longueur du filtre

La surface et la profondeur du filtré étant fixées, restent à déterminer la longueur et la largeur. Elles dépendent étroitement de la conductivité hydraulique du matériau puisque selon la loi de Darcy :

$$Q_j = A_c * K_s * (dH / dL)$$

où :

$A_c = H \times l$  = aire de la section transversale du filtre ( $m^2$ ) ( $H$  = profondeur moyenne;  $l$  = largeur);

$K_s$  = conductivité hydraulique du matériau saturé ( $m/j$ );

$dH / dL$  = gradient hydraulique ( $m/m$ ).

$K_s$  est une constante qui dépend du matériau; elle varie s'il s'agit de sable ou de gravier. Pour les filtres de graviers, on utilise des valeurs allant de 86 à 260  $m/j$  ( $10^{-3}$  à  $3 \cdot 10^{-3}$   $m/s$ ).

On a donc :

$$A_c = Q_j / K_s (dH / dL)$$

Si la conductivité hydraulique  $K_s$  est élevée (filtre de graviers), l'aire de la section transversale nécessaire à un bon écoulement pourra être moins importante. Le rapport  $L/l$  (Longueur/largeur) sera donc élevé et on aura des filtres plutôt longs et étroits. Dans le cas d'un filtre de sable ( $K_s$  faible), l'aire de la section transversale nécessaire à l'infiltration sera plus importante; on aura donc des filtres plus larges et assez courts.

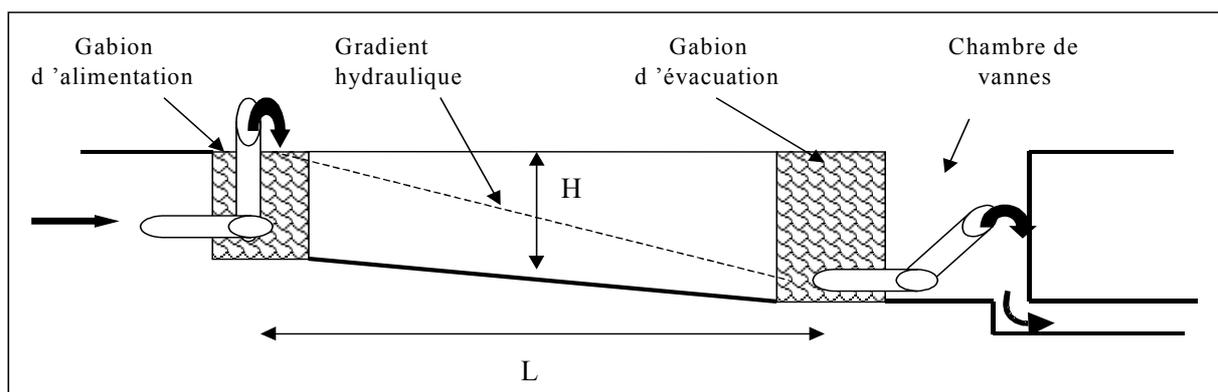


Figure 8 : Gradient hydraulique théorique d'un filtre horizontal.

La largeur et la longueur se calculent par itération. On peut adopter pour valeur du gradient hydraulique le rapport  $H/L$  (c'est le gradient maximum). On adopte une première valeur pour la largeur ( $l$ ) et on déduit de la section transversale ( $A_c$ ) correspondante le gradient hydraulique ( $H/L$ ) nécessaire. On détermine ensuite la longueur nécessaire pour créer ce

gradient hydraulique. Cela permet de déterminer une nouvelle valeur pour la largeur compatible avec la contrainte de surface horizontale. Le calcul se poursuit ainsi jusqu'à ce que les valeurs pour la largeur convergent.

Une fois la largeur connue, on détermine aisément la longueur grâce à la valeur de la surface totale déterminée précédemment.

Pour le traitement tertiaire et les eaux faiblement concentrées, on rencontre des longueurs de filtre faibles (5 - 10 m). Pour un traitement secondaire, ( $DBO_5$  de 200 mg/l environ) la longueur totale du filtre atteint 70 m voire davantage. Le filtre peut alors être subdivisé en plusieurs étages en série.

#### g) Pente

Généralement la surface des filtres est plane et c'est le fond qui est légèrement en pente (1 % environ). Geller (1990) suggère cependant que la surface des filtres soit légèrement ascendante, avec une pente de 0.5 à 2 % et une différence de niveau maximale de 100 mm. Ceci permet d'atténuer les écoulements de surface et force le passage de l'eau dans le massif filtrant.

### 3.1.2. Mise en oeuvre

Avant l'installation des dispositifs de traitement, il est important de veiller à ce que le terrain soit compacté de manière rigoureuse afin qu'il ne s'affaisse pas par la suite. Cela modifierait le nivellement du matériau et provoquerait des écoulements préférentiels, des zones d'eaux stagnantes... qui affecteraient l'efficacité du traitement.

#### a) Traitement amont

Pour les eaux brutes, il consiste couramment en un prétraitement (dégrillage, dessablage-déshuilage), et une décantation. Le système de décantation peut être, un simple bassin de décantation, un décanteur/digesteur ou encore, une fosse septique toutes eaux. En cas d'un bassin de décantation ouvert, celui-ci doit être dimensionné pour assurer un temps de passage le plus court possible afin d'éviter la fermentation génératrice de mauvaises odeurs.

L'absence de traitement en amont induit un risque de colmatage du système de répartition par les matières en suspension. Cela entraîne des écoulements superficiels et la chaîne de traitement est alors court-circuitée, ce qui affecte ses performances et induit des problèmes d'insectes et d'odeurs.

Pour les eaux issues d'un traitement biologique, la filière ne nécessite aucun traitement spécifique intermédiaire.

#### b) Alimentation

En traitement secondaire, l'alimentation des filtres horizontaux est continue et peut être permanente. En traitement tertiaire, pour une dénitrification, le filtre doit être alimenté en permanence pour être saturé et procurer les conditions d'anaérobiose nécessaires. Il n'y a pas

de problème de colmatage puisque les eaux qui arrivent sur cet étage sont pauvres en matières en suspension.

Le système de répartition doit permettre à l'effluent d'être en contact avec la plus grande partie du massif filtrant, que ce soit en largeur ou en hauteur. La plupart du temps, il est constitué d'un drain enterré dans une large tranche de pierres perpendiculaire à l'écoulement. Ce genre de dispositif enterré ne permet pas de vérifier la bonne répartition de l'effluent. Une bonne maîtrise de la répartition nécessite sa visualisation. A cet effet, l'alimentation peut être réalisée en surface par un système de surverse sous forme d'une gouttière agrémentée d'encoches en V, se déversant sur une tranche de larges pierres qui assure la répartition en profondeur. Ce dernier système nécessite un entretien très régulier car les encoches s'obstruent rapidement et entraînent des écoulements préférentiels. Il existe également des systèmes composés d'une conduite enterrée mais avec des surverses en surface sous forme de cheminées à encoche. Dans tous les cas, ces systèmes doivent pouvoir être nettoyés facilement lors de l'entretien courant de la station.

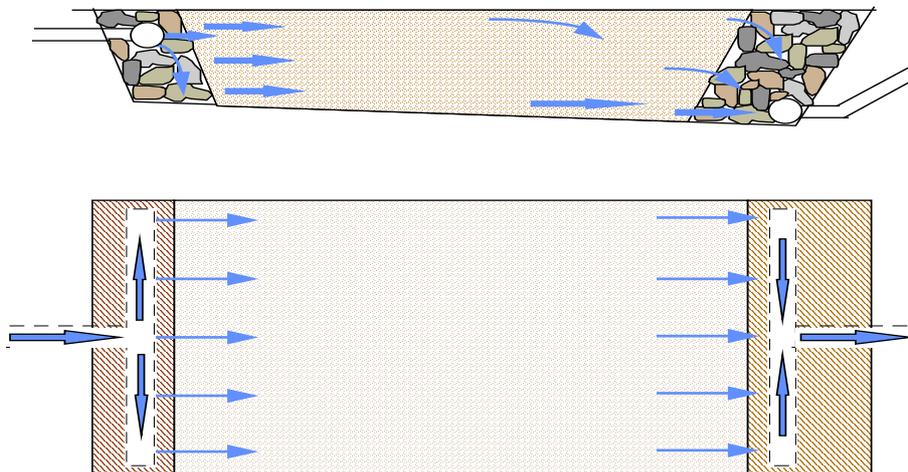


Figure 9. Exemple de système de répartition sur un filtre horizontal.

#### c) Evacuation

La collecte des eaux a lieu à l'extrémité du bassin opposée à l'alimentation. Il s'agit la plupart du temps d'un drain enterré au fond du filtre dans une large tranche de pierres perpendiculaire à l'écoulement qui assure le drainage du filtre sur la hauteur. Dans certaines installations, la collecte a lieu en surface, mais cela demande une fine gestion du niveau d'eau dans le filtre afin qu'il n'y ait aucun écoulement superficiel.

Les eaux sont récupérées dans une chambre de collecte dans laquelle est installé le siphon permettant d'ajuster le niveau d'eau. Celui-ci doit être maintenu à environ 5 cm sous la surface. Le siphon permet également de vidanger les bassins durant la phase de repos.

#### d) Choix du matériau

Le *matériau en place* peut être utilisé si sa conductivité hydraulique est suffisante. Un test en laboratoire doit être effectué pour la déterminer. Il est recommandé, pour limiter les risques de

colmatage, que le sol ne contienne pas plus de 5 à 10 % d'argile. Kickuth est un des rares à recommander l'utilisation du sol naturel. Il ajuste cependant sa composition par des ajouts de sable et/ou d'argile afin d'atteindre une conductivité hydraulique adéquate et une capacité d'adsorption optimale du phosphore.

En aucun cas, le sol en place ne peut être utilisé sans avoir fait l'objet d'analyses et de tests car les risques de colmatage sont trop importants. De plus, le sol doit être remanié avant d'être utilisé afin qu'il soit meuble au démarrage de la station. De toute façon, le matériau doit être excavé afin d'étanchéifier le filtre, au moins en premier étage.

La plupart du temps, les systèmes utilisant le sol en place présentent rapidement des écoulements de surface traduisant une faible conductivité hydraulique du matériau. Cela se traduit par une nette diminution des performances à l'épuration.

On constate dans le plupart des pays où initialement le sol sur place était utilisé une tendance à utiliser maintenant un *matériau importé* qui sera du sable ou du gravier dont la granulométrie dépendra de la concentration des eaux à traiter. En effet, si les eaux sont très concentrées, on préférera un matériau plus grossier afin qu'elles ne colmatent pas l'entrée du filtre. Si le filtre horizontal sert au traitement tertiaire, pour la dénitrification, les eaux sont peu concentrées en matières en suspension. Le matériau pourra alors être plus fin, offrant ainsi une plus grande surface spécifique pour le développement des bactéries et pour l'adsorption éventuelle du phosphore.

Le matériau doit impérativement être lavé pour éviter la présence de fines qui pourraient colmater le filtre. Il doit être roulé et non concassé, ceci pour trois raisons :

- favoriser le développement des plantes ;
- ne pas percer ou user l'éventuelle membrane d'étanchéification ;
- ne pas former un support trop tassé (les grains s'imbriquent plus facilement quand ils sont concassés que roulés ce qui donne un support trop compact).

Il devra être le plus homogène possible afin de ne pas favoriser des écoulements préférentiels. Enfin, il devra être meuble, non tassé. Pour éviter des tassements inégaux du matériau, il faudra s'assurer d'un degré d'humidité homogène et constant de la totalité du matériau lors de la mise en place.

#### e) Etanchéité

Si le sol est argileux à la profondeur adéquate pour le filtre, l'étanchéification peut se faire par compactage de l'argile.

Malgré tout, une membrane PVC ou en Poly Ethylène Haute ou Faible densité peut être ajoutée pour éviter le mélange des matériaux et la remontée de fines dans le sable ou le gravier. Une couche de sable d'environ 2 cm d'épaisseur peut remplacer la membrane dans cette fonction.

Une membrane est de toutes façons nécessaire dans les cas où le terrain n'est pas argileux, au moins pour le premier étage de traitement. La géomembrane doit être doublée d'un géotextile pour éviter les poinçonnements.

Les étages de finition peuvent ne pas être étanchéifiés à condition que le milieu récepteur ne soit pas trop sensible.

## f) Plantations

### *Choix des plantes*

En France et en Europe plus généralement, la plante la plus couramment utilisée est le Roseau commun (*Phragmites communis* ou *Phragmites australis*). En effet, elle est parfaitement adaptée aux conditions hydriques d'exploitation des filtres plantés. Elle possède un tissu particulier, l'aérenchyme, qui lui permet de transférer de l'oxygène depuis les parties aériennes jusqu'aux rhizomes et aux racines; elle peut ainsi se développer dans des milieux saturés en eau en permanence. De plus, elle résiste très bien à l'alternance de périodes d'immersion de ses organes souterrains et de périodes de "à-sec"; les niveaux d'eaux maintenus dans les bassins sont très proches de ses conditions d'habitat naturel. Enfin, la répartition naturelle du roseau est très vaste, ce qui fait de cette plante une espèce qui s'adapte très facilement à des altitudes et des climats très divers. Ceci est une garantie quant à la résistance et au bon développement du couvert végétal quelle que soit la situation géographique (sauf la haute montagne).

D'autres plantes sont également utilisées comme la Massette ou Quenouille (*Typha* sp.), le Jonc des chaisiers (*Scirpus lacustris*), l'Iris des marais (*Iris pseudacorus*)... Elles sont moins employées pour différentes raisons, la première étant qu'elles sont moins bien adaptées aux conditions hydriques des filtres et plus sensibles à l'alternance de périodes en eau et de périodes sans eau. Elles se développeront donc moins bien dans le cas d'une alimentation alternée, entre autres. Elles sont rarement utilisées pour le premier étage de traitement dont le mode d'exploitation crée des conditions peu favorables à leur développement, mais elles sont présentes régulièrement sur les étages suivants où l'eau est plus claire.



Photo 6 : Mosaïque végétale du dernier étage d'un filtre horizontal (Curienne)

Certaines d'entre elles ont leurs particularités. Par exemple, le Jonc des chaisiers est capable d'assimiler de grandes quantités d'azote, ce qui peut être intéressant dans le cas d'un traitement tertiaire où l'on fauche ; il a cependant l'inconvénient de se fragiliser quand il a absorbé trop d'azote et de verser facilement ce qui favorise le développement de plantes adventices. L'Iris des marais peut, quant à lui, fixer des métaux lourds en grandes quantités, mais ceux-ci sont peu ou pas présents dans les eaux domestiques ; il présentera un intérêt, par contre, dans le traitement des eaux de ruissellement.

### *Modes d'implantation*

Il existe différents modes d'implantation. Le plus courant consiste à se procurer des plants chez un pépiniériste, et à les replanter entre mai et août. Il existe des pépiniéristes spécialisés dans les plantes destinées à la revégétalisation des berges de cours d'eau.

Il est possible d'utiliser les espèces présentes dans les stations locales, mais ceci uniquement dans le cas où les surfaces à planter sont peu importantes ; il faut de toutes façons demander une autorisation pour le prélèvement d'espèces. Ces plantes auront l'avantage d'être adaptées aux conditions climatiques locales et se développeront d'autant mieux.

La technique la plus simple consiste alors à prélever des morceaux de rhizomes entre les mois d'octobre et mars. Si la fin des travaux de la station est prévue plus tard dans l'année, on peut transplanter les rhizomes dans des pots cultivés sous serre en attendant. Les morceaux de rhizomes doivent être taillés de façon à mesurer 10 à 30 cm de long, et comporter au moins un entre-noeud et deux bourgeons latéraux et/ou terminaux. Les portions de rhizomes ainsi obtenues doivent être enterrées de la manière suivante:

- elles doivent être inclinées d'environ 45° par rapport à l'horizontale ;
- une des extrémités doit être en contact avec l'atmosphère ;
- au moins un des bourgeons doit être à plus de 4 cm sous la surface.

La densité de plantation doit être de 4 plants par m<sup>2</sup> environ.

La méthode d'implantation la plus répandue en France consiste à mettre en place des plants cultivés sous serre et obtenus à partir de graines, en prenant soin de garder la motte de terre autour des racines car le matériau des filtres n'est pas suffisamment riche en nutriments pour permettre aux jeunes plants de s'enraciner. Cette méthode donne les meilleurs résultats en matière de reprise et de rapidité de colonisation.

## 3.2 FILTRES VERTICAUX

### 3.2.1. Dimensionnement

#### a) Surface des filtres

Dans la littérature anglo-saxonne (Cooper *et al.*, 1996, d'après Grant, 1995 [communication personnelle à P. Cooper]) on trouve la méthode de dimensionnement suivante :

Pour de petites unités (< 100 hab..) on peut utiliser la formule suivante :

$$A_1 = 3.5 P^{0.35} + 0.6 P$$

$A_1$  = surface du premier filtre vertical ;

P = nombre d'habitants raccordés.

La surface du second filtre fera 50 % de  $A_1$  si l'effluent a subi un traitement primaire, et 60 % de  $A_1$  sinon. Cela donne des valeurs comprises entre 3.2 m<sup>2</sup>/hab. pour 4 hab., et 1.3 m<sup>2</sup>/hab. pour 100 hab., pour traiter l'effluent brut.

Pour les plus grandes unités, on pourra dimensionner de la façon suivante :

- pour le seul *abattement de la DBO<sub>5</sub>*, 1 m<sup>2</sup>/hab. suffisent (en surface utile totale) ;
- si une *nitrification* est nécessaire en plus, on utilisera une surface spécifique de 2 m<sup>2</sup>/hab.

La répartition des surfaces des deux étages sera fait de façon à ce que le second étage ait une surface spécifique égale à la moitié de celle du premier, soit 0.7 m<sup>2</sup>/hab. pour le premier étage et 0.3 m<sup>2</sup>/hab. pour le second (ou 1.3 m<sup>2</sup>/hab. pour  $A_1$  et 0.7 m<sup>2</sup>/hab. pour  $A_2$  si on souhaite une nitrification).

Capacité	Contraintes	$A_1$ (m <sup>2</sup> /hab.)	$A_2$ (m <sup>2</sup> /hab.)	Surface totale (m <sup>2</sup> /hab.)
4 hab.	Effluent prétraité	2	1	3
	Effluent brut	2	1.2	3.2
100 hab.	Effluent prétraité	0.8	0.4	1.2
	Effluent brut	0.8	0.5	1.3
> 100 hab.	DBO <sub>5</sub>	0.7	0.3	1
	DBO <sub>5</sub> + nitrification	1.3	0.7	2

Tableau 4. Surfaces spécifiques nettes (m<sup>2</sup>/hab) nécessaires en fonction du nombre d'équivalent habitant raccordé.

En France, où généralement l'objectif de traitement inclut une nitrification, la plupart des filtres du premier étage sont dimensionnés à raison de 1 m<sup>2</sup>/hab. dans le cas d'un réseau séparatif, et 1.5 m<sup>2</sup>/hab. dans le cas d'un réseau unitaire même partiellement.

Le dimensionnement du deuxième étage est basé en grande partie sur la perméabilité du sable en surface. En général, il faut considérer  $1 \text{ m}^2/\text{habitant}$ , mais avec un sable de très bonne qualité (grande perméabilité), on peut descendre jusqu'à  $0.5 \text{ m}^2/\text{habitant}$ . L'utilisation de ce matériau, même s'il représente un coût plus important, permet de diviser la surface, et donc le volume nécessaire, par deux ; il devient donc plus rentable de miser sur la qualité.

La pratique actuelle française peut, pour les filtres verticaux être résumé par les chiffres clefs suivants:

<p style="text-align: center;"><b>2.5 m<sup>2</sup> / hab.</b>  <b>20 g DBO<sub>5</sub>/m<sup>2</sup>. jour</b>  <b>10 cm / jour</b></p>
--

#### b) Nombre d'étages

En traitement principal, le système nécessite généralement deux étages.

En traitement combiné, par exemple traitement primaire avant une lagune, un seul étage peut suffire. Cela dépend de la qualité des eaux qui a été prévue pour alimenter le dispositif suivant.

#### c) Nombre de bassins par étage

Un minimum de deux bassins est obligatoire afin de pouvoir alterner les phases d'alimentation et de repos. Ceci est valable pour un traitement secondaire ou pour une très petite installation.

Pour des installations supérieures à 100 habitants, trois bassins sont généralement utilisés, de façon à assurer des périodes de repos d'environ les 2/3 du temps.

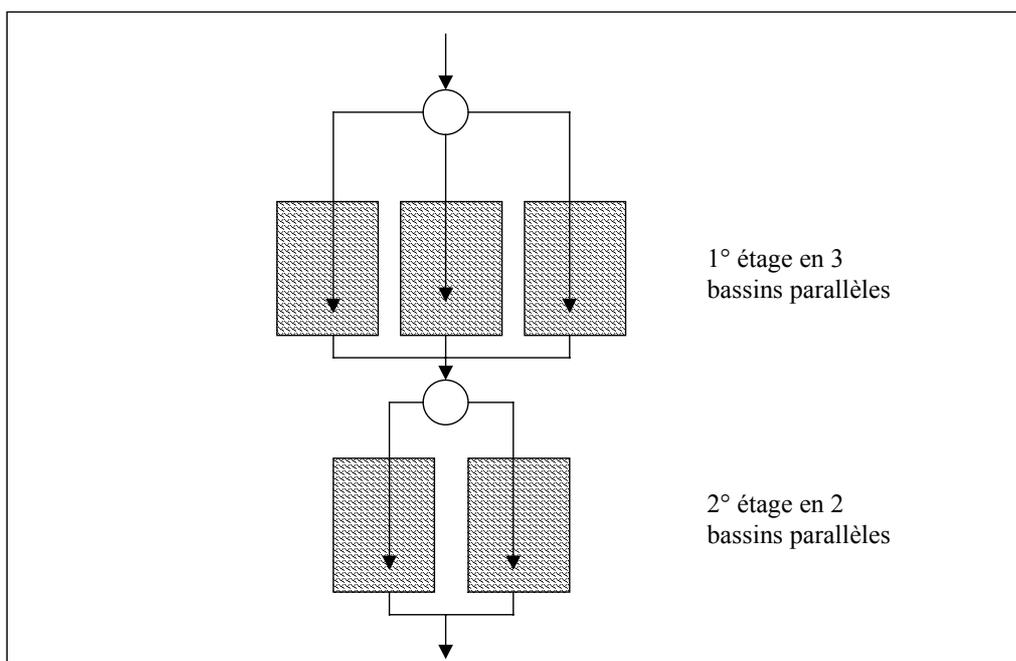


Figure 10 : Schéma type d'un filtre vertical à deux étages

#### d) Profondeur

La profondeur moyenne en France des filtres verticaux constituant un premier étage de traitement varie de 0.75 m à 0.90 m. Le deuxième étage est légèrement plus profond sans pour autant dépasser 1 m.

#### e) Pente

La surface du filtre est plane. Le fond peut être légèrement en pente (1%).

### 3.2.2. Mise en oeuvre

#### a) Traitement amont

En Europe, les filtres plantés de macrophytes à percolation verticale sont généralement alimentés par des eaux issues d'un décanteur ou même d'un traitement biologique. En France, la plupart des filtres verticaux sont alimentés avec les *eaux brutes* ayant subi un simple dégrillage grossier. La couche de boues qui se forme en surface reste perméable durant plusieurs années grâce à la présence des plantes.

Cependant, pour diverses raisons, certains préfèrent ajouter une unité de traitement en amont. Elle va du décanteur à la fosse septique.

#### b) Alimentation

La *vitesse d'alimentation* des filtres verticaux doit être plus élevée que la vitesse d'infiltration dans le matériau, pour que l'effluent puisse être réparti sur la majeure partie du filtre. Cette répartition est favorisée par les dépôts de matière organique qui offrent une perméabilité moindre autour de la bouche d'alimentation et obligent donc l'effluent à s'infiltrer toujours plus loin et à solliciter ainsi un plus grand volume de matériau.



Photo 7 : La vitesse d'alimentation doit permettre l'immersion complète du filtre

Cependant, une bonne répartition ne peut être obtenue qu'avec une *alimentation par à-coups* (par bâchées). Ceci est réalisable soit grâce à des pompes, soit grâce à un système de siphon auto-amorçant lorsque le dénivelé du terrain permet une alimentation gravitaire. Dans tous les cas, le débit d'alimentation, réparti en général sur 4 points d'arrivée de chacun des filtres du premier étage, devrait être proche de 0.5 m<sup>3</sup> par m<sup>2</sup> de surface de chacun des filtres et par heure. Le volume d'une bâchée est un compromis entre d'une part un temps de stockage limité pour éviter une fermentation anaérobie des eaux et d'autre part la possibilité de répartir convenablement un volume aussi faible que possible, au regard de la célérité avec lequel ce volume est apporté (débit du dispositif de confection des bâchées). On considère qu'une bâchée doit permettre d'apporter 1 à 3 cm d'eau sur la surface du filtre en fonctionnement. Pour une charge hydraulique de 10 cm d'eau par jour sur l'ensemble de la surface du premier étage et un nombre de 3 filtres en parallèle, cela revient à environ 10 à 30 bâchées par jour en temps sec.

Les arrivées doivent être réparties en *plusieurs points* sur le filtre, de manière homogène. La mise en place des canalisations qui assureront l'alimentation, doit être très minutieuse car une légère pente favoriserait une sortie au détriment des autres et la répartition ne serait plus homogène. De même, leur supports doivent être fondés de telle façon qu'un tassement ultérieur du filtre n'influe pas sur le profil hydraulique.

Dans le cas où un décanteur primaire a assuré la rétention des matières en suspension les plus grossières en amont, on peut alimenter le filtre par aspersion avec un dispositif de répartition plus complexe pouvant assurer une distribution plus homogène sur l'ensemble de la surface d'un filtre. Accessoirement, cela permet une préoxygénation de l'effluent.

Dans le cas d'un écoulement gravitaire, les canalisations seront en surface ; par contre si l'alimentation se fait par pompage, les canalisations pourront être enterrées. Seules les sorties seront apparentes. Ceci constitue un avantage par rapport au risque de gel, mais aussi d'un point de vue paysager en hiver si la végétation a été préalablement fauchée. En cas de risques de gels importants, il est nécessaire de prévoir un système de vidange des tuyaux d'alimentation entre chaque bâchée (pas de clapet anti-retour).

Sous les sorties, des plaques brise-jet doivent être mises en place pour ne pas perturber la surface du filtre, ce qui favoriserait les écoulements préférentiels.

### c) Evacuation

La collecte des eaux traitées a lieu au fond du filtre grâce à des drains, si possible intercalés entre les sorties d'alimentation pour solliciter le plus grand volume de matériau possible. Ces drains sont raccordés à un drain principal en bout de filtre, qui collecte la totalité des eaux traitées et assure l'évacuation vers le regard d'alimentation des filtres du 2<sup>ème</sup> étage ou le regard de sortie. On utilisera de préférence des drains en tube synthétiques, plus rigides que les drains agricoles et munis d'entailles plus larges et donc moins susceptibles de se colmater.

Des cheminées d'aération sont reliées à chaque drain d'évacuation en prenant soin d'éviter des courts-circuits depuis la plage d'infiltration.

#### d) Choix du matériau

Dans le cas des filtres verticaux, pour le *premier* étage au moins, on n'utilise pas le sol naturel. D'une part, parce que la conductivité hydraulique nécessaire est trop importante, d'autre part, parce qu'il faut une répartition du matériau en couches successives de granulométrie différente.

La couche la plus active est vraisemblablement la couche superficielle de plus faible granulométrie qui est généralement du gravier fin compris entre 2 et 8 mm sur une épaisseur variant généralement entre 20 et 50 cm. Les couches sous-jacentes sont des couches intermédiaires de granulométrie plus grossière utilisées à titre de séparation pour atteindre la couche drainante très souvent constituée de galets dans une fourchette comprise entre 20 et 60 mm et quelquefois de hourdis.

Tous ces matériaux et les racines et rhizomes des roseaux qui les colonisent sont bien sûr le support des micro-organismes épuratoires.

Le *deuxième* étage est recouvert d'une couche de sable plus épaisse ; son rôle est très important et son choix très délicat. En effet, elle doit concilier plusieurs objectifs contradictoires : finesse pour compléter la rétention des matières en suspension résiduelles venant du premier étage, offrir une surface de contact élevée pour le développement du biofilm et, conjointement ne pas être trop sensible au colmatage. En outre, comme les filtres de ce second étage assurent actuellement l'essentiel de la nitrification, il est important que la diffusion d'oxygène depuis l'atmosphère y soit conséquente entre deux bâchées et pendant les périodes de repos.

Les sables, graviers et pierres utilisés doivent être lavés et roulés pour les mêmes raisons que pour les filtres horizontaux, c'est à dire pour limiter la présence de fines pouvant colmater les espaces interstitiels, pour éviter que le matériau se tasse trop et enfin, pour fournir un milieu favorable au développement des végétaux.



Photo 8 : Mise en place de la membrane, géotextile, tuyaux de drainage et couche de collecte (Photo M Cadic)

Il est indispensable de procéder à des tests de ségrégation entre les différents matériaux utilisés afin de s'assurer qu'ils ne peuvent pas se mélanger d'une couche à l'autre, auquel cas il faut insérer une couche de granulométrie intermédiaire.

Si le sol en place a une conductivité hydraulique suffisante et contient moins de 10 % d'argile, il pourra être utilisé pour le second étage, à condition que le milieu récepteur ne soit pas trop sensible (karst). Le sol doit être remanié au moins en surface pour favoriser l'infiltration.

#### e) Etanchéité

Le principe est le même que pour les filtres horizontaux. Les premiers étages doivent à tout prix être étanches pour ne pas contaminer le sol. Par contre, si le milieu récepteur le permet et si le cours d'eau à proximité est sec à certaines périodes de l'année, le dernier étage peut ne pas être étanchéifié. Un drain collecteur en fin de bassin paraît cependant nécessaire pour pouvoir vérifier la qualité du rejet et évacuer les eaux excédentaires qui ne pourraient s'infiltrer en cas de saturation du sol lors de longs épisodes pluvieux.

#### f) Plantations

Les espèces de macrophytes utilisables sont a priori les mêmes que pour les filtres à écoulement horizontal, de même que le mode d'implantation. Cependant, le roseau (*Phragmites australis*) semble le mieux adapté au régime hydrique très différencié avec des périodes d'assecs pouvant durer une semaine sur un matériau très filtrant, d'une part et un développement uniforme sur l'ensemble de la surface et dans la profondeur des filtres, d'autre part, à la faveur de la multiplication végétative depuis les nœuds du rhizome. Les végétaux se développant en touffes (*Typha latifolia*, *Phalaris arundinacea*, *Juncus effusus*, ...) ne devraient pas convenir. Le roseau semble encore être le plus adapté car plus résistant dans les conditions d'exploitation requises, il ne nécessite pas d'entretien particulier et assure un couvert végétal dense et monospécifique très rapidement (à partir de la troisième année en général).

## **4 EXPLOITATION ET ENTRETIEN**

Même s'il est vrai que ce type d'installation est peu contraignante du point de vue de l'exploitation et demande peu d'entretien par rapport à une installation classique, ces aspects ne doivent en aucun cas être négligés car ils sont primordiaux pour le bon fonctionnement de la station ainsi que pour sa pérennité.

### **4.1 EXPLOITATION**

#### **4.1.1. Alternance d'alimentation des bassins**

La périodicité avec laquelle les bassins doivent être alimentés puis laissés au repos dépend du système retenu ainsi que du niveau de traitement, mais aussi du nombre de bassins par étage.

En général, les filtres horizontaux sont alimentés en permanence, surtout en traitement tertiaire. En traitement secondaire, l'alimentation peut être alternée à raison d'une semaine d'alimentation et une semaine de repos.

Les filtres verticaux doivent nécessairement être alimentés en alternance. Les périodes d'alimentation ne doivent pas être trop longues afin que la matière organique ne puisse colmater le filtre, mais pas trop courtes non plus, car ce colmatage progressif permet une meilleure répartition de l'effluent, augmentant ainsi l'efficacité du traitement. Les périodes de repos doivent être suffisamment longues afin de jouer pleinement leur rôle, mais pas trop non plus pour ne pas affecter ni la croissance des roseaux ni celle de la population bactérienne alors en période de disette. La périodicité «idéale» est de 3 à 4 jours d'alimentation pour une semaine de repos.

La permutation manuelle des vannes d'alimentation présente un intérêt puisqu'elle impose des visites souvent bihebdomadaires de la station et permet ainsi d'effectuer une inspection visuelle régulière. Dans le cas d'une permutation automatisée, il pourra être prévu que l'automate n'assure la permutation qu'une fois sur deux afin que l'exploitant soit contraint, au minimum, à une visite hebdomadaire.

#### **4.2.2. Vidange des bassins restés en eau**

Dans les filtres horizontaux, la hauteur d'eau est maintenue constante grâce à un système de siphon permettant d'ajuster le niveau d'eau dans le filtre. Si on décide de les alimenter de façon intermittente, il faut les vidanger afin que l'air puisse y circuler librement et que la dégradation aérobie des matières accumulées puisse avoir lieu. Ceci évite de plus le dégagement de mauvaises odeurs liées à la fermentation dans une eau stagnant en fond de bassin. La vanne située au bas du filtre doit rester ouverte pendant la période de repos.

Dans le cas des filtres verticaux, le problème ne se pose pas puisque les filtres sont automatiquement drainés entre chaque bâchée.

### 4.2.1. Entretien particulier lors de la mise en route

La première année surtout, il est indispensable de procéder à un désherbage manuel des filtres afin que les plantations ne soient pas concurrencées par des plantes adventices. Selon la densité de recouvrement à la fin de la première année, il sera peut-être nécessaire de renouveler l'opération l'année suivante, d'où l'intérêt d'une plantation suffisamment dense (4 plants/m<sup>2</sup>).

Par la suite cela ne sera plus utile car les roseaux parviendront à maintenir une population monospécifique.

D'importants travaux de recherche sur la plantation et la propagation des roseaux ainsi que sur le contrôle des mauvaises herbes ont été menés au Royaume Uni vers la fin des années 1980 (Parr, 1987, 1990). Dans le cas des filtres horizontaux, il est possible de noyer initialement la surface et de maintenir une eau libre de 5 cm afin de favoriser le développement des Phragmites et d'inhiber la germination des plantes adventices. Ceci évite le désherbage manuel de la première année. Cependant, cela ne permet pas d'atteindre des niveaux de traitement intéressants durant cette période, puisque l'eau circulera préférentiellement en surface.

### 4.2.2. Entretien courant

#### a) Nettoyage des systèmes de prétraitement

Le dégrilleur doit être nettoyé une fois par semaine. Le refus du dégrillage est déposé dans un panier de séchage où il séjourne avant d'être évacué avec les ordures ménagères. Le dessableur doit être entretenu régulièrement et plus particulièrement après de fortes pluies qui ont entraîné des quantités importantes de sable dans le cas d'un réseau unitaire. Le déshuileur peut être nettoyé deux fois par an.

Le siphon et la bêche de stockage en tête des filtres plantés de roseaux doivent être nettoyés au jet d'eau sous pression au moins une fois par trimestre, afin de fiabiliser le fonctionnement, essentiel, du dispositif d'injection par bûchées.

#### b) Entretien des systèmes de traitement primaire

S'ils sont présents, les dispositifs de traitement primaire tels que les fosses septiques ou les décanteurs-digesteurs doivent être vidangés en fonction du niveau des boues accumulées, c'est à dire une à deux fois par an pour les décanteurs digesteurs.

#### c) Entretien des abords de la station

L'entretien des abords de la station consiste à tondre régulièrement les abords de la station afin de préserver un certain esthétisme ainsi qu'à entretenir les éventuelles clôtures en fonction des dommages occasionnels. Un entretien régulier du local technique est également nécessaire.

#### d) Visite et vérification des installations électromécaniques

Il s'agit de s'assurer du bon fonctionnement des appareils électromécaniques et de détecter les pannes éventuelles le plus rapidement possible. Cette visite de contrôle doit donc avoir lieu au moins une fois par semaine.

#### e) Faucardage des macrophytes

Le faucardage des macrophytes a lieu une fois par an, généralement à l'automne.

Des investigations restent à faire pour déterminer le bien fondé d'un faucardage en fin d'hiver et mesurer l'impact de la végétation flétrie comme couche d'isolation thermique et le gain vis à vis de la protection contre le gel en terme de performances.

Il peut être utile de faire appel à une entreprise spécialisée dans l'entretien des berges des cours d'eau, qui dispose du matériel adéquat. Toutefois, l'employé communal peut tout à fait être compétent ; il faudra alors compter sur un supplément de temps passé sur la station relativement conséquent. Cela représente environ 6h30 de travail pour 100 m<sup>2</sup> de plantations, car il ne s'agit pas seulement de couper les tiges, mais il faut également les évacuer assez rapidement (avant le printemps) afin qu'elles ne se décomposent pas à la surface.

Les plantes peuvent également être brûlées, à condition que l'étanchéification soit faite à l'argile, et que les tuyaux d'alimentation soient en fonte. Il ne reste alors que les reliquats de tiges qui sont coupés à la faux. Le temps de travail est ainsi diminué d'un facteur 3 (Liénard *et al.* 1994).

Pendant les deux premières années qui suivent la plantation, il est recommandé de laisser les plantes se développer sans les couper.

Le devenir des végétaux fauchés est encore problématique. Les quantités extraites sont trop faibles pour une valorisation artisanale par exemple, mais trop importantes pour être enlevées avec les ordures ménagères. Ils sont généralement brûlés sur place.

#### f) Traitement des insectes

Celui-ci est a priori inutile étant donné l'absence d'eau stagnante en surface des filtres. Cependant des dysfonctionnements n'affectant pas forcément de manière significative l'épuration peuvent entraîner la prolifération de moustiques. Un traitement annuel peut être envisagé sans occasionner de surcoût important (environ 200 F par intervention).

#### g) Suivi

Un cahier d'entretien doit être tenu et mis à jour à chaque visite. On doit y trouver les manipulations effectuées, les divers travaux d'entretien et/ou de réparation, les dysfonctionnements... Tout événement pouvant avoir un impact sur le fonctionnement de la station (crues, fortes pluies, dégâts causés par les animaux...) doit y être notifié.

## 5 LES COUTS

### 5.1 COUTS D'INVESTISSEMENT

Ce chapitre présente les données concernant le coût d'investissement des installations françaises principalement conçues selon le principe de l'écoulement vertical. En effet seulement de ce type d'installations existe-t-il actuellement un échantillon suffisamment fourni pour un traitement un peu statistique des données.

Nous avons dépouillé une dizaine de devis estimatifs recueillis auprès des communes, d'Agences de l'Eau ou des concepteurs et établi une répartition des coûts en plusieurs postes clés détaillés dans les paragraphes suivants.

#### a) Travaux préparatoires et terrassements

Ce sont tous les travaux préparatoires à l'installation du chantier avec l'abattage des arbres, le débroussaillage, le décapage de la terre végétale, l'installation du chantier et tout le terrassement nécessaire lié au creusement des bassins, des tranchées pour poser les tuyaux et la mise en œuvre des remblais et mise en dépôt des déblais.

Relevé topographique

Installation de chantier

Arrachage, abattage, dessouchage, débroussaillage

Décapage de terre végétale

Drainage du terrain

Mise en œuvre de remblais prélevés sur place

Terrassement en pleine masse, mise en dépôt des déblais, reprise et mise en œuvre en remblais

Terrassement en tranchées pour pose de tuyaux

Enrochement

Fourniture et mise en place de tout venant chemin d'accès et aires de circulation.

#### b) Fourniture et pose des canalisations préfabriquées

Il s'agit là de tout ce qui concerne les conduites et les accessoires tels que les raccords...

Fourniture des tuyaux

Pose des tuyaux

Fourniture des accessoires des canalisations.

#### c) Etanchéité des bassins

L'étanchéité des bassins passe le plus souvent par la pose d'une géomembrane et d'un géotextile de protection. Le compactage de l'argile est, lui, compris dans les travaux de terrassement.

Fourniture et pose d'une géomembrane et du géotextile associé

#### d) Maçonnerie et ouvrages connexes

La maçonnerie concerne tout ce qui est regards de distribution, de collecte..., les ouvrages de siphonnage, le dégrillage, les cloisons de séparation des filtres si nécessaire...

Construction des regards de distribution, de collecte, de visite, de contrôle

Ouvrages de siphonnage

Fourniture et pose d'un ouvrage de comptage des eaux avec canal Venturi

Canal de dégrillage avec dégrilleur

Cloison de séparation des filtres

Tête d'aqueduc

Tête de buse trop plein.

#### e) Garnissage des filtres

Les principaux matériaux constituant le garnissage des filtres sont les matériaux filtrants (sable, graviers, pierres, hourdis...). Mais dans cette partie, il faut aussi prendre en compte les systèmes de répartition, les drains de collecte, les cheminées d'aération et les plaques de répartition.

Fourniture et pose des drains

Fourniture et pose du système de répartition

Fourniture et mise en œuvre des matériaux drainants

Fourniture et pose de plaques de répartition

Cheminées de ventilation

Chapeaux de ventilation.

#### f) Equipements et divers

Enfin, dans le poste divers nous avons regroupés des prestations suivantes :

Fourniture et pose d'un canal Venturi

Fourniture et pose des siphons auto-amorçants

Engazonnement digues et abords

Fourniture et plantation de roseaux

Clôture

Portail

Compteur de bâchées

Local technique

Fourniture et pose de plaques de fermeture

Réfection de chaussées

Bouches d'arrosage

Réseaux divers

Borne d'eau potable

Plantation d'arbustes

Clapets anti-retour

Par ailleurs, certaines installations de l'échantillon sont équipées d'un poste de relèvement.

La répartition des moyennes des coûts des postes clefs est donnée dans la figure 8. Pour des raisons d'homogénéité le post de relèvement, relativement important, n'est pas inclus dans les postes clefs.

On observe qu'environ 70% des coûts sont liés aux trois postes : travaux préparatoires, étanchéité et garnissage.

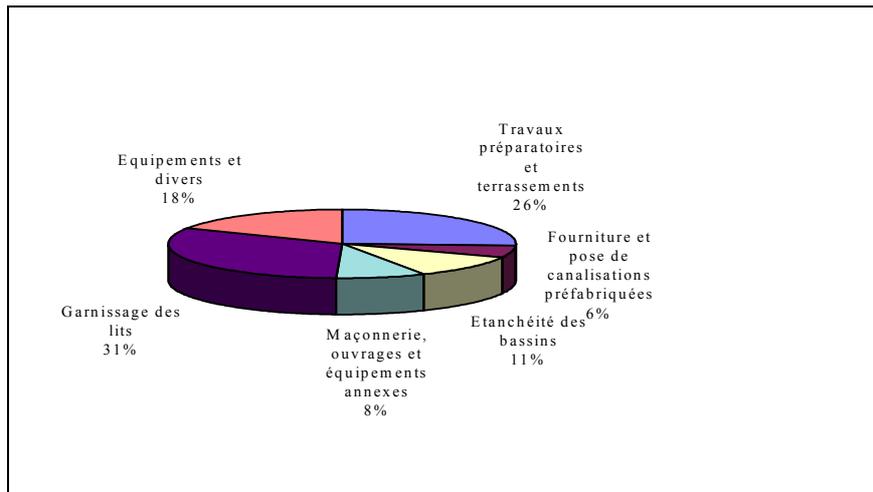


Figure 11. Fraction des coûts globaux pour différents postes.

Dans les figures 9 présente l'évolution des coûts unitaires en FHT/EH (hors poste de relèvement) en fonction de la capacité des ouvrages pour 10 installations. Le coût d'investissement par équivalent-habitant pour les stations par filtres plantés de macrophytes décroît globalement avec l'augmentation de la capacité. Cependant, la surface nécessaire et donc les volumes de matériaux, le nombre de mètres de canalisation..., varient directement avec la population raccordée. Cela engendre des coûts variables proportionnels à la capacité qui deviennent élevés devant les coûts fixes. C'est pour cette raison que, au-delà de 1000 habitants, le coût par EH ne diminue que très peu. Aussi les coûts d'investissement d'une station d'épuration classique deviennent inférieurs à ceux des filtres plantés pour des capacités supérieures à 2000 EH environ.

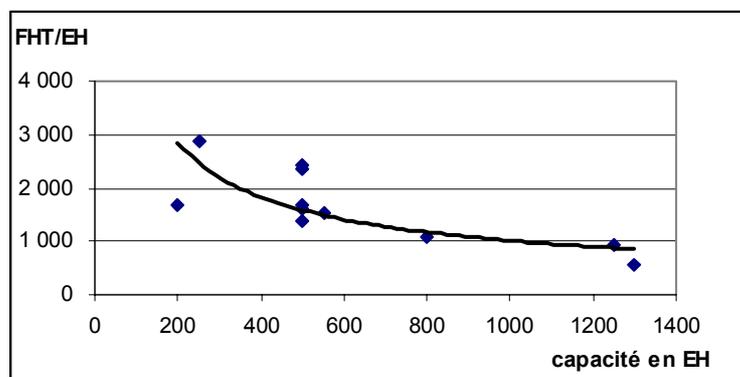


Figure 12. Coûts par EH des filtres plantés à écoulement vertical.

## 5.2 COÛTS D'EXPLOITATION

Les coûts d'exploitation sont surtout liés à la main d'œuvre. L'éventuelle présence d'un poste de relèvement ne pèse que très faiblement sur les coûts. Elle peut même diminuer le temps passé par l'employé dans la mesure où les opérations d'alternance d'alimentation peuvent être automatisées.

### a. Rémunération de l'employé communal

En moyenne, l'employé communal passera 3 h par semaine sur la station. La période de fauche des roseaux peut demander jusqu'à trois semaines à l'automne.

### b. Electricité

Les coûts liés à la consommation d'électricité peuvent être nuls dans les conditions optimales où il est inutile de mettre en place un poste de refoulement.

### c. Faucardage

Si le faucardage est indispensable sur les filtres verticaux, pour ne pas gêner la répartition de l'effluent à la surface du filtre, il n'est pas nécessaire sur les filtres horizontaux puisque le niveau d'eau doit être maintenu sous la surface. Le faucardage prend environ 1 semaine par 400 EH.

### d. Evacuation des boues

Sur les filtres verticaux, la couche de boues accumulée doit être évacuée (dans des conditions de fonctionnement normales) au plus tous les 8 à 10 ans. Une mince couche de matériau en surface est enlevée dans le même temps et doit être remplacée. Il n'est pas prévu que le matériau se colmate sur une profondeur nécessitant le renouvellement de la totalité du matériau. Sur la base de l'expérience acquise à Gensac la Pallue (16), il n'est pas nécessaire de replanter de roseaux, ils se développent à nouveau à partir des nœuds du rhizome resté en place.

Globalement les coûts d'exploitation des filtres plantés de macrophytes ressortent à des niveaux légèrement plus faibles comparés à des systèmes plus intensifs (variant de 240 F/EH par an à 35 F/EH par an pour respectivement 100 EH et 1000 EH). A noter cependant la très faible préoccupation que représente l'évacuation des boues en cas d'absence de décantation primaire.

	Boues activées	Lagunage aéré	Filtre bactérien	Disques biologiques	Décanteur digesteur	Lagunage naturel	Filtres d'infiltration	Filtres plantés	Filtres enterrés	Épandage souterrain	Épandage superficiel
100 hab.	-	-	300	-	120	200	280	240	180	115	100
400 hab.	120	65	75	75	30	50	70	60	50	30	25
1000 hab.	75	40	45	45	15	30	40	35	-	-	-

Tableau 5. Comparaison des coûts d'exploitation (en FHT/EH an) des diverses filières d'épuration adaptées aux petites collectivités.

Les coûts d'exploitation de différents systèmes adaptés aux petites collectivités sont résumés dans le tableau 5 emprunté au Document Technique FNDAE 22 (Alexandre *et al.* 1998). Dans ce tableau les coûts sont exprimés en FHT par habitant pour tenir compte de la pollution effectivement reçue par la station, en considérant qu'en milieu rural celle-ci est de 100 l d'eau usée, 50 l d'eaux parasites et à une charge journalière de 35 g de DBO<sub>5</sub> et 9 g d'azote. Ils ne comprennent pas les éventuels frais de déplacement et de mise à disposition du personnel, les frais financiers, l'achat de matériel courant et réactifs ainsi que les coûts de traitement et d'élimination des boues.

## 6 FICHES DE CAS

On recense en France en 1999 une quarantaine de communes ayant fait le choix des filtres plantés de macrophytes pour l'épuration de leurs eaux usées. La liste figurant en annexe 1 n'est peut-être pas exhaustive. Cependant, elle regroupe la totalité des références que nous avons pu répertorier. Certaines (datées 1999) sont en cours de construction.

Les cas détaillés ici ont été choisis pour être représentatifs d'un type de système de traitement. Ils sont répertoriés dans le tableau à double entrée suivant :

	Filtres horizontaux	Filtres verticaux	Système hybride
Eaux brutes, traitement primaire		Gensac-La-Pallue	
Eaux brutes, traitement complet	Curienne	Roussillon	Pannessières
Eaux décantées	Aureil		Manspach

Les systèmes de filtres horizontaux sont illustrés par les stations d'Aureil (87) et de Curienne (73). Celle d'Aureil est un filtre horizontal classique de type Kickuth, unique représentant en France à notre connaissance. Il est alimenté par des eaux issues d'une décantation primaire. Les filtres horizontaux de Curienne ont la particularité d'être alimentés directement avec les eaux brutes. Elle constitue également un cas unique à l'heure actuelle en France dans le cadre d'un assainissement collectif.

Les filtres verticaux sont les plus répandus en France. Le plus ancien est celui de Gensac-La-Pallue (16), mais il ne constitue pas à lui seul la totalité du système d'épuration, puisque les filtres sont suivis de lagunes. Ce cas est cependant intéressant car il a fait l'objet d'un suivi régulier tant sur la qualité du traitement, que sur les conditions d'exploitation.

Roussillon (84) est l'exemple type de la station d'épuration entièrement composée de filtres verticaux et alimentée par des effluents bruts.

Le système hybride le plus représentatif et le plus étudié en France est celui de Pannessières (39), alimenté par un effluent brut.

Reste le cas atypique de Manspach (68), système hybride alimenté par des eaux issues d'un décanteur digesteur.

La définition des capacités de façon non ambiguë est délicate pour ces petites installations.

L'équivalent habitant (E.H.) tel qu'il est défini au niveau européen, c'est à dire 60 g de DBO<sub>5</sub>/j n'est pas représentatif des rejets réels, surtout en milieu rural.

C'est pourquoi, dans les fiches de cas qui vont suivre, il sera précisé à chaque fois le nombre d'habitants raccordables à la station ainsi que les charges massiques et hydrauliques théoriques pour lesquelles la station a été conçue. Selon les cas, la pollution générée par un habitant a pu être estimée entre 40 et 50 g de DBO<sub>5</sub>/j, ou 80 et 120 g de DCO/j. De même, l'estimation du débit d'eaux usées rejeté varie de 150 à 200 l/j selon qu'il s'agit d'un réseau séparatif ou unitaire.

## Fiche de station

Nom de la commune : AUREIL  
Nature du système : filtre planté de macrophytes à écoulement horizontal (de type Kickuth)  
Capacité : 100 habitants  
6 kg DBO<sub>5</sub>/j  
12 kg DCO/j  
15 m<sup>3</sup>/j

### CONTRAINTES

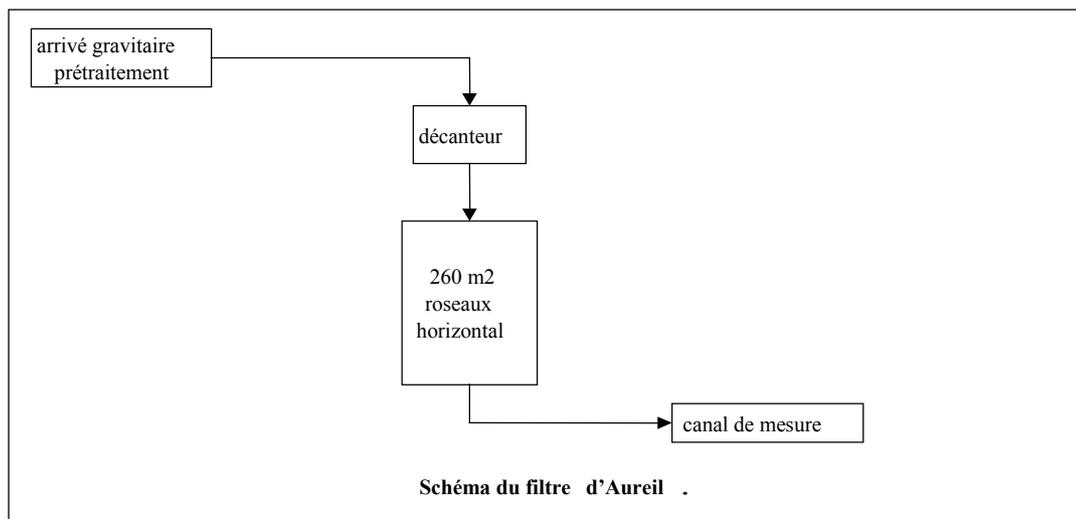
Réseau : séparatif  
Nature des eaux usées : domestiques  
Traitement amont : primaire  
*nature* : dégrilleur et bassin de décantation.  
*caractéristiques* : dégrilleur avec grille à barreaux de 1 cm et espacés de 2 cm, et bassin de décantation de 9 m<sup>2</sup>.  
Traitement opéré par les filtres : secondaire  
Milieu récepteur : ruisseau asséché en été  
Niveau de rejet : MES 30 mg/l, DCO 90 mg/l, DBO<sub>5</sub> 30 mg/l, NK 40 mg/l, P rendement 80% (e - N.K. 1 - P.T. 1 de la circulaire du 4 novembre 1980 garanti par le constructeur)

### DIMENSIONNEMENT ET MISE EN ŒUVRE

Surface totale : 259 m<sup>2</sup> environ  
Surface spécifique : 2.59 m<sup>2</sup>/habitant  
Charge spécifique : 23.2 g DBO<sub>5</sub>/m<sup>2</sup>/j  
46.3 g DCO/m<sup>2</sup>/j  
58 l/m<sup>2</sup>/j  
Alimentation : continue et permanente  
Nature et composition du massif filtrant : sol reconstitué  
Plantes : Phragmites (roseaux)

### CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT

Fonctionnement : *taux de charge massique* : 17 % pour la DBO<sub>5</sub>  
28 % pour la DCO  
*charge massique spécifique* : 4 g DBO<sub>5</sub>/m<sup>2</sup>/j  
13 g DCO/m<sup>2</sup>/j  
*taux de charge hydraulique* : 53 %  
*charge hydraulique spécifique* : 31 l/m<sup>2</sup>/j



### PERFORMANCES

	Entrée (mg/l)	Sortie (mg/l)	Rendement (%)
MES	140	18	97
DCO	420	82	96
DBO <sub>5</sub>	130	11	98
Norg	180	45	95
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	163	41	95
P-PT	27	20	85

### COMMENTAIRES

La station d'Aureil est un cas particulier puisqu'elle est la seule en France à être conçue sur les principes définis par Kickuth.

Le filtre lui-même ne nécessite aucun entretien régulier. Les seules opérations d'entretien résident en la tonte des abords de la station pour des questions d'esthétique, et la vidange du bassin de décantation. Les roseaux ne sont pas fauchés mais laissés en place.

Pour ce qui est de la maintenance et du suivi d'exploitation, il suffit de régler de temps en temps le niveau du siphon de sortie de manière à maintenir un niveau d'eau à peu près constant dans le lit, quelle que soit la saison. Ceci est essentiel du fait de la forte perte d'eau par transpiration : il a été mesuré une évaporation de 27 l/m<sup>2</sup>/j en septembre 1995 ce qui représente presque 80 % de la quantité d'eau entrée.

Les résultats présentés dans le tableau concernent une seule mesure. Les concentrations en N et P sont très élevées à l'entrée. Les rendements, *ici calculés sur les flux*, sont élevés même pour les paramètres N et P.

## Fiche de station

Nom de la commune : CURIENNE (73)  
Nature du système : filtres plantés de macrophytes à écoulement horizontal  
Capacité : 500 habitants  
30 kg DBO<sub>5</sub>/j  
100 m<sup>3</sup>/j

### CONTRAINTES

Réseau : séparatif  
Nature des eaux usées : domestiques  
Traitement amont : prétraitement  
nature : dégrilleur, dessableur, déshuileur  
caractéristiques : entrefers du dégrilleur de 4 cm  
Traitement opéré par les filtres : principal  
Milieu récepteur : cours d'eau superficiel à faible débit d'étiage  
Niveau de rejet : MES 30 mg/l, DCO 90 mg/l, DBO<sub>5</sub> 30 mg/l, NK 40 mg/l, P rendement 80% (e - N.K. 1 - P.T. 1 de la circulaire du 4 novembre 1980)

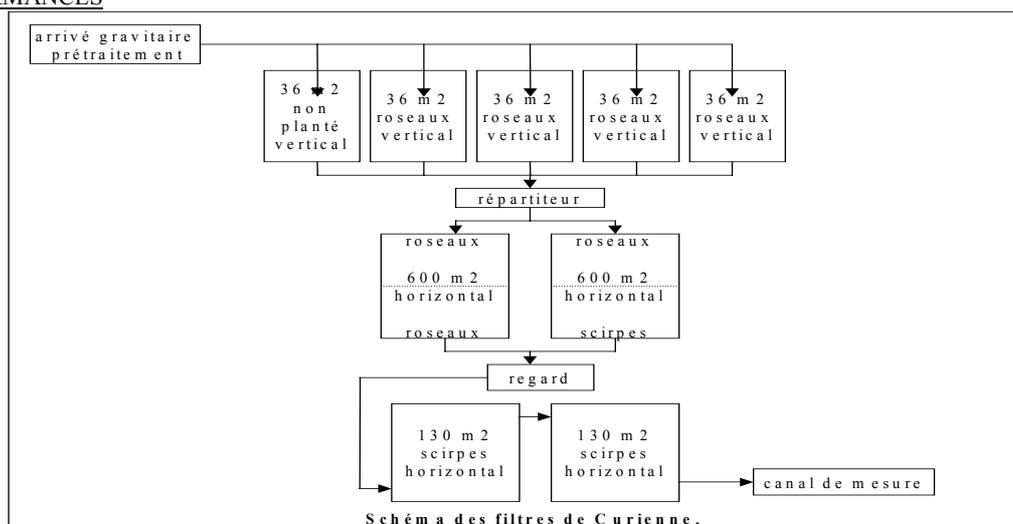
### DIMENSIONNEMENT ET MISE EN OEUVRE

Surface totale : 1645 m<sup>2</sup>  
Surface spécifique : 3.3 m<sup>2</sup>/habitant  
Charge spécifique : 18.2 g DBO<sub>5</sub>/m<sup>2</sup>/j  
60.8 l/m<sup>2</sup>/j  
Alimentation : continue, gravitaire  
Périodicité d'alternance :  
1° étage : 15 j d'alimentation ; 15 j de repos  
2° étage : 2 mois d'alimentation ; 2 mois de repos ou bien alimentation en continu des deux bassins en série.  
3° étage : alimentation continue  
Massif filtrant : *nature et composition* :  
1° étage : 3 couches de bas en haut: 20 cm de gabion 20-46 mm roulé, lavé ; 15 cm de gravier 12 mm roulé, lavé ; 25 cm de gravelette 6mm lavée.  
2° étage : même composition  
3° étage : même composition

### CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT

Fonctionnement : *taux de charge massique* : 70 % pour la DBO<sub>5</sub>  
*charge massique spécifique* : 13 g DBO<sub>5</sub>/m<sup>2</sup>/j  
*taux de charge hydraulique* : 86 %  
*charge hydraulique spécifique* : 52 l/m<sup>2</sup>/j

## PERFORMANCES



	Entrée (mg/l)	Sortie (mg/l)	Rendement (%)
MES	230	9	97
DCO	623	40	95
DBO <sub>5</sub>	317	19	95
NTK	70	29	70
N-NH <sub>3</sub>	78	44	
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	5	0.5	
P-PT	12	3	80
Coliformes / 100 ml	10 <sup>8</sup>	10 <sup>4</sup>	log 4
Entérocoques / 100 ml	10 <sup>6</sup>	10 <sup>4</sup>	log 2

## COMMENTAIRES

La station d'épuration par filtres plantés de macrophytes de Curienne est un cas particulier. Ce sont des lits horizontaux dont le massif filtrant n'est pas uniforme mais composé de plusieurs couches, de granulométrie différente, superposées comme dans les lits verticaux.

De plus, c'est un des rares systèmes horizontaux à admettre des eaux brutes. Il peut se le permettre dans la mesure où l'alimentation des bassins du premier étage n'est pas enterrée. Ces bassins fonctionnent en réalité comme des filtres verticaux non aérobies. Le filtre en fonctionnement est immergé de façon permanente par une couche d'eau dont la hauteur en situation d'équilibre est d'environ 15 cm. A l'alternance de l'alimentation cette couche apparente disparaît en un jour. Le colmatage de la couche superficielle est donc à ce jour compatible avec le passage de l'eau.

L'installation reçoit actuellement la charge polluante de 230 habitants et volontairement une partie de l'installation n'est pas alimentée de façon à limiter la surface spécifique à environ 4.5 m<sup>2</sup>/habitant.

Les résultats en termes de qualité de l'effluent traité sont obtenus à l'occasion d'un suivi à fréquence mensuelle. Ils sont excellents pour les paramètres MES, DBO<sub>5</sub> et DCO. L'élimination de l'azote est également élevée au vu des rendements calculés sur la base des flux. L'abattement élevé en phosphore est probablement surtout dû à l'adsorption sur le matériau et il est donc prévu de suivre ce paramètre plus longtemps pour déterminer le moment de saturation, mais aussi le degré de relargage (désorption éventuelle d'une partie du phosphore adsorbé).

## Fiche de station

Nom de la commune : GENSAC-LA-PALLUE  
Nature du système : filtres plantés de macrophytes à percolation verticale  
Capacité : 1700 habitants  
77 kg DBO<sub>5</sub>/j  
170 kg DCO/j  
255 m<sup>3</sup>/j

### CONTRAINTES

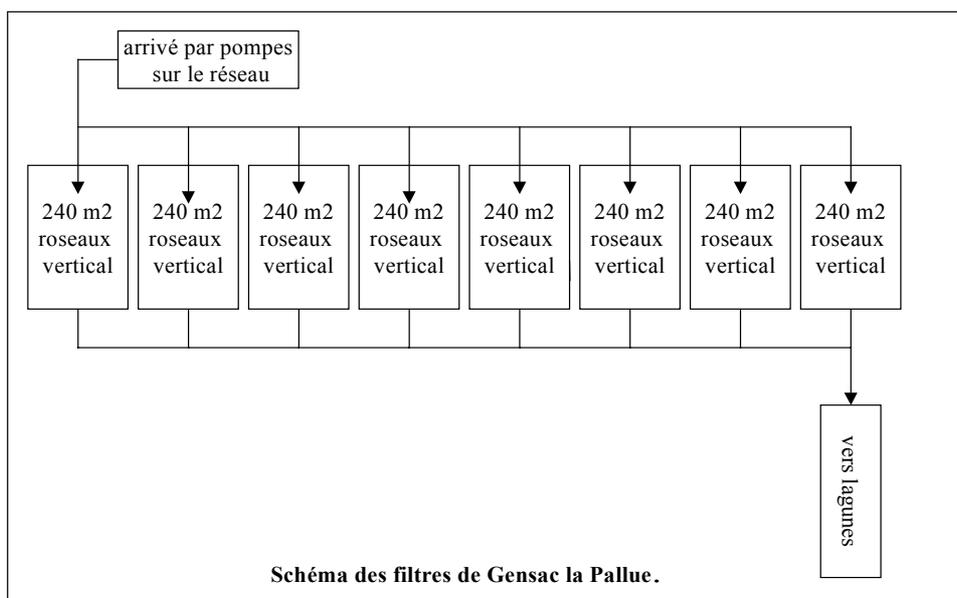
Réseau : séparatif  
Nature des eaux usées : domestiques et industrielles (eaux d'une usine de production d'eau déminéralisée)  
Traitement amont : prétraitement  
*nature* : dessablage, dégrillage  
Traitement opéré par les filtres : primaire  
Traitement aval : traitement secondaire  
*nature* : lagunes à microphytes  
*caractéristiques* : 5 m<sup>2</sup>/E.H.  
Milieu récepteur : cours d'eau superficiel  
Niveau de rejet souhaité : niveau *d* de la circulaire du 4 novembre 1980 (40 mg DBO<sub>5</sub>/l ; 120 mg DCO/l ; 120 mg MES/l)

### DIMENSIONNEMENT ET MISE EN ŒUVRE

Surface totale : 1915 m<sup>2</sup>  
Surface spécifique : 1.1 m<sup>2</sup>/E.H.  
Charge spécifique : 40.2 g DBO<sub>5</sub>/m<sup>2</sup>/j  
88.8 g DCO/m<sup>2</sup>/j  
133.1 l/m<sup>2</sup>/j  
Alimentation : bâchées par pompage  
*volume des bâchées* : 1,80 m<sup>3</sup>  
*hauteur des bâchées* : 0.75 cm  
Périodicité d'alternance : 2 j d'alimentation (3 le week-end) ; 16 j de repos  
Massif filtrant : *nature et composition* : couches de graviers roulés, lavés : 20 cm de 3 - 8 ; 15 cm de 16 - 25 ; 6 cm de 20 - 40 ; 9 cm de 40 - 70

### CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT

Fonctionnement : *taux de charge massique* : 62 % pour la DBO<sub>5</sub>  
65 % pour la DCO  
*charge massique spécifique* : 25 g DBO<sub>5</sub>/m<sup>2</sup>/j  
57 g DCO/m<sup>2</sup>/j  
*taux de charge hydraulique* : 56 %  
*charge hydraulique spécifique* : 75 l/m<sup>2</sup>/j



### PERFORMANCES

	Entrée (mg/l)	Sortie filtres (mg/l)	Rendement des filtres (%)
MES	423	48	88.6
DCO	767	153	80
DBO <sub>5</sub>	336	54	84
N-NH <sub>4</sub>	66.5	32.2	51.6
N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>		3.3	
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		2.1	
NTK	84.8	49.8	41.3
P-PT	17.5	13.2	24

### COMMENTAIRES

La station de Gensac-La-Pallue a été mise en service pour la première fois le 1er Octobre 1982. Sa conception a été revue par la suite et elle fonctionne dans sa configuration actuelle depuis 1987.

De nombreuses mesures ont été réalisées par la DDASS de Charente, ce qui permet d'avoir un certain recul quant à l'efficacité du traitement. Les concentrations à la sortie des filtres sont relativement élevées, mais il faut réaliser qu'il s'agit d'un traitement en amont d'un lagunage. Les rendements figurants dans le tableau des résultats sont calculés à partir des flux.

En 1997, la couche de boue accumulée à la surface des lits a été évacuée, ainsi que les cinq premiers centimètres de matériau. Le reste, ne présentant pas de signe de colmatage, a été conservé. La couche de matériau évacuée a été remplacée. Les boues d'un des lits n'ont pas été évacuées. Ce lit fonctionne toujours correctement.

Les boues recueillies ont été stockées sur le site même de la station et présentent un aspect de terreau. Elles sont utilisées par les employés communaux pour l'entretien des espaces verts de la commune. Le seul léger inconvénient est la présence de résidus plastiques qui ne permet pas une utilisation à grande échelle du matériau car il nécessite un minimum de tri avant emploi.

Les roseaux sont brûlés sur place quand ils sont secs à la fin de l'automne. Ceci est possible car les lits sont étanchéifiés par compactage de l'argile et non par géomembrane ; quant aux tuyaux de répartition ils sont en fonte. Le brûlage permet une réduction importante de la matière sèche à évacuer, cependant tout le roseau ne brûle pas toujours et il faut procéder à l'évacuation des tiges restées en place. Cette pratique ne semble pas avoir d'impact sur la qualité du rejet et les rhizomes n'ont pas l'air d'être affectés par une telle procédure.

## Fiche de station

Nom de la commune : ROUSSILLON  
Nature du système : filtres plantés de macrophytes à percolation verticale  
Capacité : 1250 habitants (465 habitants en hiver, 2015 habitants en été)  
28 à 75 kg DBO<sub>5</sub>/j  
56 à 150 kg DCO/j  
70 à 250 m<sup>3</sup>/j

### CONTRAINTES

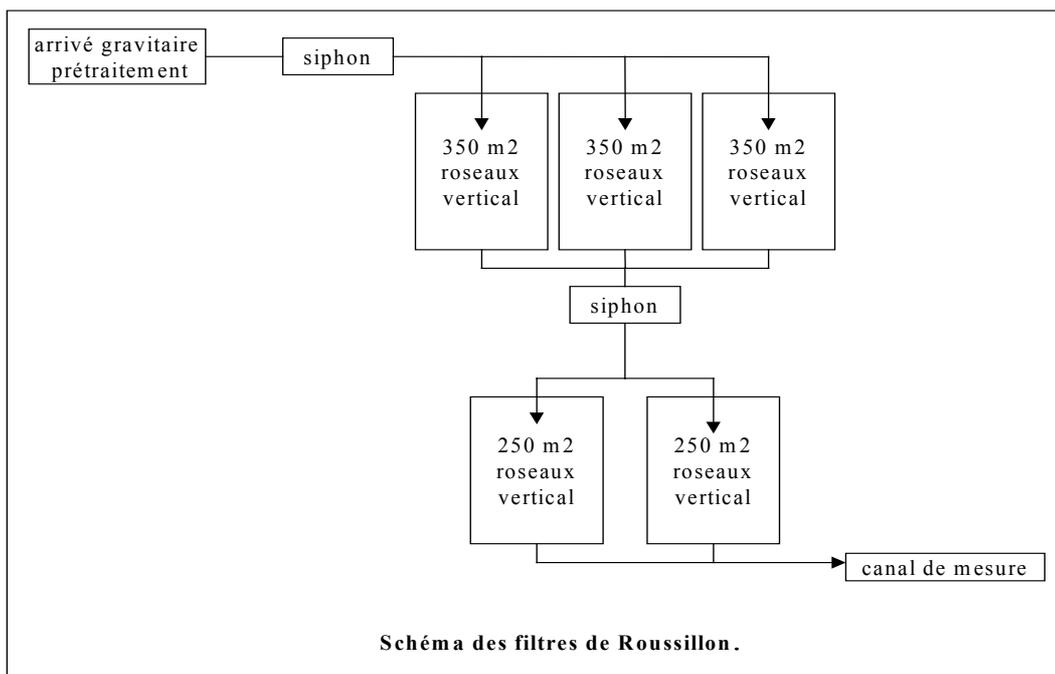
Réseau : séparatif mais avec déversoir d'orage  
Nature des eaux usées : domestiques  
Traitement amont : prétraitement  
*nature* : dégrillage manuel  
Traitement opéré par les filtres : principal  
Milieu récepteur : ruisseau Val des Fées à 2 km en amont de l'Imergue avec niveau 1B  
Niveau de rejet : niveau D4

### DIMENSIONNEMENT ET MISE EN OEUVRE

Surface totale : 1550 m<sup>2</sup>  
Surface spécifique : 1.25 m<sup>2</sup>/E.H. (dont 0.85 m<sup>2</sup>/E.H. pour 1<sup>o</sup> étage et 0.30 m<sup>2</sup>/EH pour 2<sup>o</sup> étage)  
Charge spécifique : 50 g DBO<sub>5</sub>/m<sup>2</sup>/j  
100 g DCO/m<sup>2</sup>/j  
160 l/m<sup>2</sup>/j  
Alimentation : par bâchées grâce à un siphon auto-amorçant, écoulement gravitaire  
*volume des bâchées* : 6 m<sup>3</sup>  
*hauteur des bâchées* : 1.7 cm sur 1<sup>o</sup> étage 2.4 cm sur 2<sup>o</sup> étage  
Périodicité d'alternance :  
1<sup>o</sup> étage : 3 ou 4 j d'alimentation ; 7 j de repos  
2<sup>o</sup> étage : 7 j d'alimentation ; 7 j de repos  
Nature et composition du massif filtrant :  
1<sup>o</sup> étage : au fond couche de galets puis plusieurs couches de granulats de taille décroissante de bas en haut ; en surface graviers fins (2-5 mm)  
2<sup>o</sup> étage : couches de graviers de granulométrie croissante du haut vers le bas ; 15 cm de sable en surface.

### CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT

Fonctionnement : *taux de charge massique* : 88 % en été pour la DBO<sub>5</sub>  
60 % pour la DCO  
*charge massique spécifique* : 44 g DBO<sub>5</sub>/m<sup>2</sup>/j  
60 g DCO/m<sup>2</sup>/j  
*taux de charge hydraulique* : 48 %  
*charge hydraulique spécifique* : 77 l/m<sup>2</sup>/j



### PERFORMANCES

	Entrée (mg/l)	Sortie (mg/l)	Rendement (%)
MES	400	7	98
DCO	850	40	95
DBO <sub>5</sub>	470	8	98
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	65	1.5	98
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		20	
P-PT	12	8	33

### COMMENTAIRES

La station de Roussillon est un représentant typique des filtres plantés de macrophytes développés en France : deux étages avec un objectif de nitrification affiché.

Elle reçoit les effluents d'une collectivité caractérisée par une forte variation saisonnière de la population : en été 200 personnes peuvent séjourner sur le site. Le dimensionnement tient compte de la capacité de ce type de dispositif à encaisser ces variations et est dimensionné pour 1250 habitants.

Les mesures présentées ont été réalisées par l'APAVE entre septembre 1998 et janvier 2000. Les rendements sont calculés sur les concentrations. On observe une bonne nitrification, également en saison hivernale, et une faible dénitrification, signes de bonnes conditions d'aérobies.

Après 3 ans de fonctionnement environ les deux tiers de la surface de chaque filtre sont immergées par les effluents lors de l'alimentation. Le «colmatage» superficiel souhaité est donc encore partiel. Cela s'explique probablement par le volume relativement faible de chaque bûchée. Toutefois des bûchées plus importantes impliquent des capacités de siphons difficilement réalisables.

## Fiche de station

Nom de la commune : PANNESSIERES

Nature du système : filtres plantés de macrophytes à percolation verticale suivis de filtres à écoulement horizontal (système hybride de type Seidel)

Capacité : 550 E.H.

### CONTRAINTES

Réseau : unitaire

Nature des eaux usées : domestiques, avec quelques eaux d'origine vinicoles (DCO allant jusqu'à 1500 mg/l en période de vendanges contre 400 mg/l en moyenne).

Traitement amont : prétraitement

*nature* : dégrillage, dessablage

Traitement opéré par les filtres : principal

Milieu récepteur : cours d'eau superficiel

Niveau de rejet : protection du ruisseau alimentant la zone de loisirs de Lons-Le-Saunier

### DIMENSIONNEMENT ET MISE EN OEUVRE

Surface totale : 920 m<sup>2</sup>

Surface spécifique : 2 m<sup>2</sup>/E.H.

Alimentation : continue, gravitaire

Périodicité d'alternance :

1° étage : 3 j d'alimentation ; 9 j de repos

2° étage : 1 mois d'alimentation ; 1 mois de repos

3° étage : alimentation en continu

Nature et composition du massif filtrant :

1° étage : 10 cm galets 40-70 ; 25 cm galets 15-25 ; 25 cm graviers 3-8

2° étage : 10 cm galets 40-70 ; 25 cm galets 15-25 ; 15 cm graviers 3-8 ; 10 cm sable 0-4

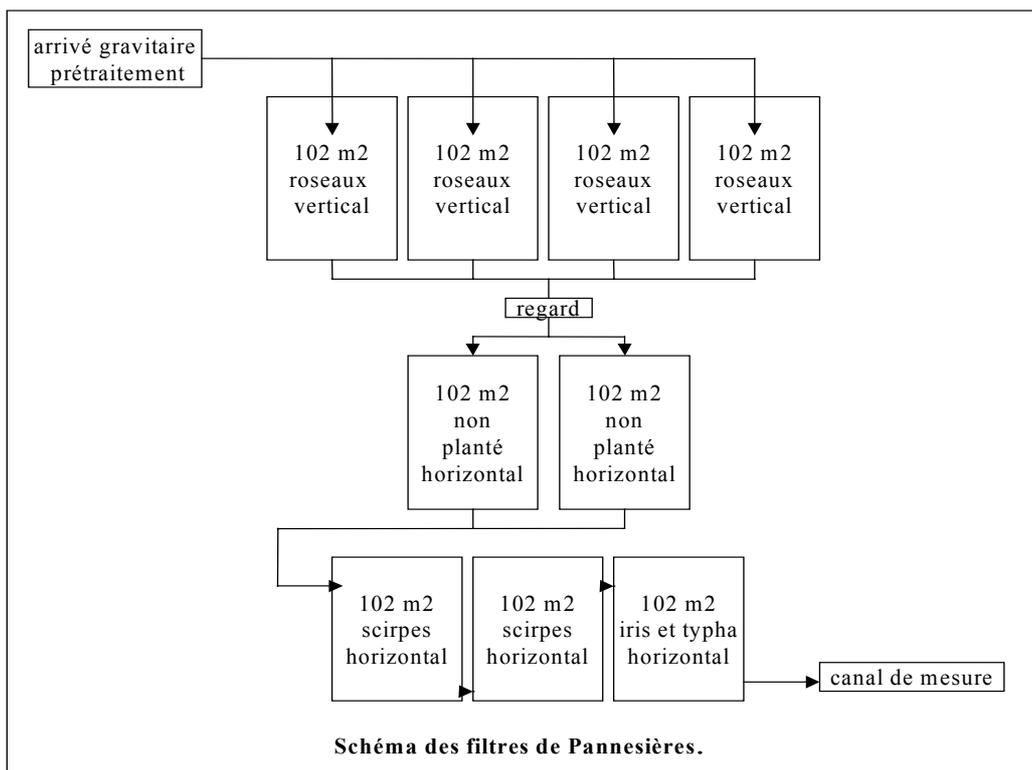
3° étage : 40 cm graviers 3-8

### CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT

Fonctionnement : *taux de charge massique* : 73 % (400 hab raccordés)

Débits : *débit effectif par temps sec, hors saison touristique* : < 80 m<sup>3</sup>/j

*débits de pointe saisonniers* : > 850 m<sup>3</sup>/j



### PERFORMANCES

	Entrée (mg/l)	Sortie (mg/l)	Rendement (%)
MES	187	13	93
DCO	400	75	81.5
DBO <sub>5</sub>	320	9	97.2
NTK	45	26	42
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	2.7	6.8	
P-PT	14.7	6.7	54.4
P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	28.3	29	2.4

### COMMENTAIRES

La station à lits plantés de macrophytes de Pannesières est une des plus anciennes implantées en France, puisqu'elle date de 1987. C'est une installation de type "Seidel".

Il n'y a pas de système répartiteur de l'effluent sur les lits verticaux ; l'alimentation ne se fait qu'en un seul point en tête de bassin et de façon continue. Il n'y a donc pas de conditions aérobies dans les lits ce qui explique la faible nitrification. Un système d'alimentation par bâchées est actuellement à l'étude.

L'alimentation à partir d'un réseau unitaire, même en présence d'un déversoir d'orage en tête de station entraîne de fortes variations de débits et donc de fortes variations de concentrations à l'entrée. Les rendements d'épuration sont très fluctuants et des faibles rendements sont observés en périodes pluvieuses, à cause d'entrées d'eaux très peu chargées.

L'élimination des phosphates est globalement nul.

Les opérations d'entretien particulières à cette station sont, sur le premier étage un décolmatage annuel à l'automne après fauchage des roseaux et séchage de la couche de boues. La pellicule recouvrant le gravier, constituée essentiellement d'un feutrage de filaments de cellulose, s'arrache telle une moquette. Les bassins du deuxième étage ne nécessitent, sous leur forme actuelle, aucun entretien.

## Fiche de station

Nom de la commune :	MANSPACH
Nature du système :	filtres plantés de macrophytes à percolation verticale, suivis de filtres à écoulement horizontal (système hybride)
Capacité :	500 habitants 20 kg DBO <sub>5</sub> /j 40 kg DCO/j 150 m <sup>3</sup> /j

### CONTRAINTES

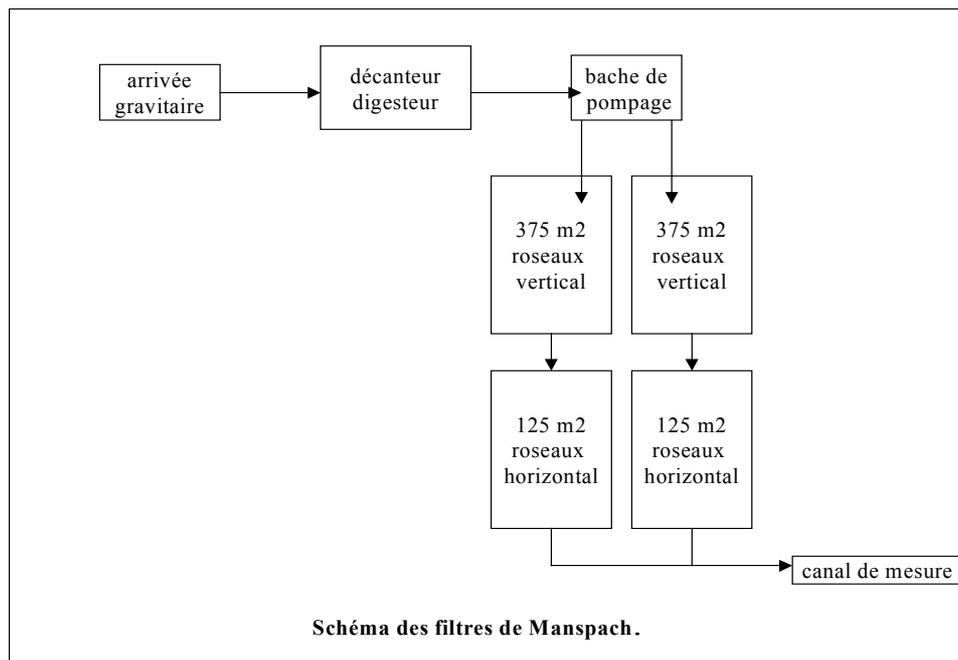
Réseau :	unitaire
Nature des eaux usées :	domestiques
Traitement amont :	primaire <i>nature</i> : décanteur digesteur à écoulement horizontal <i>caractéristiques</i> : volume utile : 100 m <sup>3</sup>
Traitement opéré par les filtres :	secondaire
Traitement aval :	tertiaire <i>nature</i> : lagune <i>caractéristiques</i> : elle a davantage une fonction de témoin qu'une réelle utilité dans le traitement
Milieu récepteur :	la Largue, ruisseau de qualité 2 lors de la conception de la station, dont l'objectif de qualité est 1B.
Niveau de rejet :	niveau <i>e</i> de la circulaire du 4 novembre 1980

### DIMENSIONNEMENT ET MISE EN OEUVRE DES FILTRES

Surface totale :	1 000 m <sup>2</sup>
Surface spécifique :	2 m <sup>2</sup> /habitant dont 1.5 m <sup>2</sup> pour 1 <sup>o</sup> étage et 0.5 m <sup>2</sup> pour 2 <sup>o</sup> étage
Charge spécifique :	20 g DBO <sub>5</sub> /m <sup>2</sup> /j 40 g DCO/m <sup>2</sup> /j 150 l/m <sup>2</sup> /j
Alimentation :	par bâchées <i>volume des bâchées</i> : 10 m <sup>3</sup> <i>hauteur des bâchées</i> : 2.7 cm
Périodicité d'alternance :	1 <sup>o</sup> étage : 7 j d'alimentation ; 7 j de repos 2 <sup>o</sup> étage : 7 j d'alimentation ; 7 j de repos
Nature et composition du massif filtrant :	1 <sup>o</sup> étage : graviers à granulométrie croissante de haut en bas recouverts de sable 2 <sup>o</sup> étage : graviers à granulométrie croissante de haut en bas

### CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT

Fonctionnement :	<i>Taux de charge massique</i> : 22 % pour la DBO <sub>5</sub> , 51 % pour la DCO <i>Charge massique spécifique</i> : 4.4 g DBO <sub>5</sub> /m <sup>2</sup> /j, 20 g DCO/m <sup>2</sup> /j <i>Taux de charge hydraulique</i> : 180 % <i>Charge hydraulique spécifique</i> : 268 l/m <sup>2</sup> /j
------------------	---



## PERFORMANCES

	Entrée de la station	Entrée des filtres	Sortie des filtres	Rendement des filtres
MES (mg/l)	49.4	25.2	< 2.5	> 91 %
DCO (mg O <sub>2</sub> /l)	92.9	77.9	26.9	71 %
DBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> /l)	29.3	16.3	< 4	> 80 %
NTK (mg N/l)	14.1	13.2	< 1.9	> 86 %
N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg N/l)	< 0.3	< 0.3	0.1	> 69 %
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg N/l)	< 0.9	< 1	10.4	
P-PT (mg P/l)	2.8	2.5	2.3	27 %
P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg P/l)	2.4	2.1	2	22 %

## COMMENTAIRES

Cette installation est alimentée par des eaux usées très diluées en raison de la présence de fosses septiques non encore déconnectées, de la fonction drainante du réseau et de la présence d'un décanteur primaire. Les débits journaliers souvent importants conduisent à des lames d'eau sur les filtres un fonctionnement qui dépassent 1 m par jour, ce qui est trois fois plus élevé que la prévision.

Les mesures ont été réalisées par le bureau d'étude IRH pendant deux périodes d'une semaine. Les rendements sont calculés sur les flux. Malgré la très faible concentration des eaux usées brutes, les rendements sont corrects sur les paramètres consommateurs d'oxygène. On note les bonnes conditions d'aérobie, même dans les filtres horizontaux qui s'expliquent par la faible concentration de l'effluent brut.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Alexandre O., Boutin C., Duchène P., Lagrange C., Lakel A., Liénard A., Orditz D. (1998). Filières d'épuration adaptées aux petites collectivités. Document technique FNDAE n° 22, Ed: Cemagref Éditions, 87 pages + annexes.
2. Armstrong J. & Armstrong W. (1988). *Phragmites australis* – preliminary study of soil-oxidising sites and internal gas transport pathways. *New Phytol.*, 108, 373-382.
3. Armstrong J. & Armstrong W. (1990). Pathways and mechanisms of oxygen transport in *Phragmites australis* (Cav.) Trin ex Steud. In : *Constructed Wetlands in Water Pollution Control*, P.F. Cooper and B.C. Findlater (Eds), Pergamon Press, pp 529-534.
4. Armstrong J., Armstrong W. & Beckett P.M. (1992). *Phragmites australis*: venturi – and humidity – induced pressure flows enhance rhizome aeration and rhizosphere oxidation. *New Phytol.*, 120, 197-207.
5. Boutin C. (1987). Domestic wastewater treatment in tanks planted with rooted macrophytes : case study, description of the system, design criteria and efficiency. *Wat. Sci. Tech.* 19(10), 29-40.
6. Boutin C., Liénard A., Esser D. (1997). Development of a new Generation of Reed-Bed Filters in France : First results. *Wat.Sci.Tech.*, 35 (5), 315-322.
7. Brix H. (1987). The applicability of the wastewater treatment plant in Othfresen as scientific documentation of the root-zone method, *Wat. Sci. Tech.*, 19 (10), 19-24.
8. Brix H and Schierup H.H (1989). The use of aquatic macrophytes in water pollution control. *Ambio*, 18, 100-107.
9. Brix H. and Schierup H.H (1990). Soil oxygenation in constructed reed beds: the rôle of macrophyte and soil-atmosphere interface oxygen transport. In : *Constructed Wetlands in Water Pollution Control*, P.F. Cooper and B.C. Findlater (Eds), Pergamon Press, 53-66.
10. Brix H. (1998) in : *Constructed wetlands for waste water treatment in Europe*. Backhuys Publishers, Leiden, Holland. pp 123-152.
11. Bucksteeg K. (1987). Sewage treatment in Helophyte beds – First experience with a new treatment procedure. *Wat. Sci. Tech.*, 19 (10), 1-10.
12. Coombes C and Collett P.J. (1995). Use of constructed wetland to protect bathing water quazlity. *Wat. Sci.Tech.* 32 (3), 149-158.
13. Cooper P.F., Job G.D., Green M.B. & Shutes R.B.E. (1996). Reed beds and constructed wetlands for wastewater treatment. *WRc Publications*, Medmenham, Marlow, UK.
14. Decamp O., Warren A. and Sanchez R. (1998). The role of ciliated protozoa in subsurface flow wetlands and their potential as bioindicators. *Proceedings of the 6<sup>th</sup> International Conference on Constructed Wetlands*, Sao Pedro, Brazil.
15. Geller G., Kleyn K., Lenz A. (1990) « Planted soil filters » for wastewater treatment : the complex system « planted soil filter », its component and their development.” Pergamon Press, IAWPCR Conférence « Advances in Water Pollution Control », pp. 161-170.
16. Geller G.(1997). Horizontal Subsurface Flow systems in the German speaking countries : summary of a long term scientific and practical experiences ; recommendations. *Water Science & Technology*. Vol. 35, n°5, pp. 157-166.
17. Green M.B., Martin J.R. (1996). Constructed reed beds clean up storm overflows on small wastewater treatment works. *Water Environment Research*, 68 (6), pp 1054-1060.
18. Guilloteau J.A., Liénard A., Vachon A., Lesavre J. (1993a). Wastewater treatment by infiltration basins. Case study : Saint Symphorien de Lay, France. *Wat. Sci. Tech.*, 27 (9), pp 97-104.
19. Guilloteau J.A., Lesavre J., Liénard A. and Genty P. (1993b). Wastewater treatment over

- sand columns. Treatment yields, localisation of the biomass and gaz renewal. *Wat. Sci. Tech.*, 28 (10), pp 251-261.
20. Haberl R., Perfler R. (1990). Seven years of research work and experience with wastewater treatment by a reed bed system. In : *Constructed Wetlands in Water Pollution Control*, P.F. Cooper and B.C. Findlater (Eds), Pergamon Press, pp 215-214.
  21. Hofmann, K. (1990). Use of *Phragmites* in sewage sludge treatment. In : *Constructed Wetlands in Water Pollution Control*, P.F. Cooper and B.C. Findlater (Eds), Pergamon Press, pp 269-277.
  22. Khatwada N.R. and Polprasert C. (1998). Kinetics of fecal coliform removal in constructed wetlands. *Proceedings 6° Int. Conf. on wetland systems for water pollution control*.
  23. Lémore C. (1984). Colmatage et décolmatage des tranchées d'épandage en assainissement autonome, Thèse de doctorat, Université de Paris Val de Marne – École Nationale des Ponts et Chaussées, 93 pages + annexes.
  24. Liénard A., Boutin C. and Esser, D. (1990). Domestic wastewater treatment with emergent hydrophyte beds in France. In : *Constructed Wetland in Water Pollution Control (Adv. Wat. Pollut. Control n°11)*. P.F. Cooper and B.C. Findlater (Eds), Pergamon Press, pp 183-192.
  25. Liénard A., Boutin C., Bois R., Charles P. (1994) Couplage de filtres plantés de roseaux et lagunes : un exemple en France. 11ème Congrès « Journées Information Eau », Poitiers, 28-30 septembre 1994. Conférence n° 41. Thème « Eaux résiduaires urbaines ». Tome 1, pp 41.1-41.15
  26. Maehlum T. et Jensen P.D.(1998) in :*Constructed wetlands for waste water treatment in Europe*. Backhuys Publishers, Leiden, Holland. pp 207-216.
  27. Mitchell R. and Nevo Z. (1964). Effect of bacterial polysaccharide accumulation on infiltration of water through sand, *Appl. Microbiol.* 12, 219-223.
  28. Parr, T. W. (1987). Experimental studies on the propagation and establishment of reeds (*Phragmites australis*) for root zone treatment of sewage, Institute of Terrestrial Ecology, Project T08018e1, In : Final report to the Water Research Centre, November 1987, 51 pages.
  29. Parr, T. W. (1990). Factors affecting reeds (*Phragmites australis*) growth in UK reed bed treatment systems. In : *Constructed Wetlands in Water Pollution Control*, P.F. Cooper and B.C. Findlater (Eds), Pergamon Press, pp 67-76.
  30. Ronner A.B. and Wong A.C. (1994). Microbial clogging of wastewater infiltration systems. In : *Proceedings of the Seventh International Symposium on Individual and Small Community Sewage Systems*, Atlanta, Georgia, 559-562.
  31. Soto F., Garcia M., Luis E. de, Bécares E. (1998). Role of *Scirpus lacustris* in bacterial and nutrient removal from wastewater. *Proceedings 6° Int. Conf. on wetland systems for water pollution control*.
  32. Vincent G., Dallaire S., Lauzer D. (1994). Antimicrobial properties of roots exudate of three macrophytes: *Mentha aquatica* L., *Phragmites australis* (Cav.) Trin. and *Scirpus lacustris* L.. *Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Conference on Wetlands Systems for Water Pollution Control*, Guangzhou, China.
  33. Vyzamal J., Brix H., Cooper P.F., Green M.B., Haberl R. *Constructed wetlands for waste water treatment in Europe*. Backhuys Publishers, Leiden, Holland.

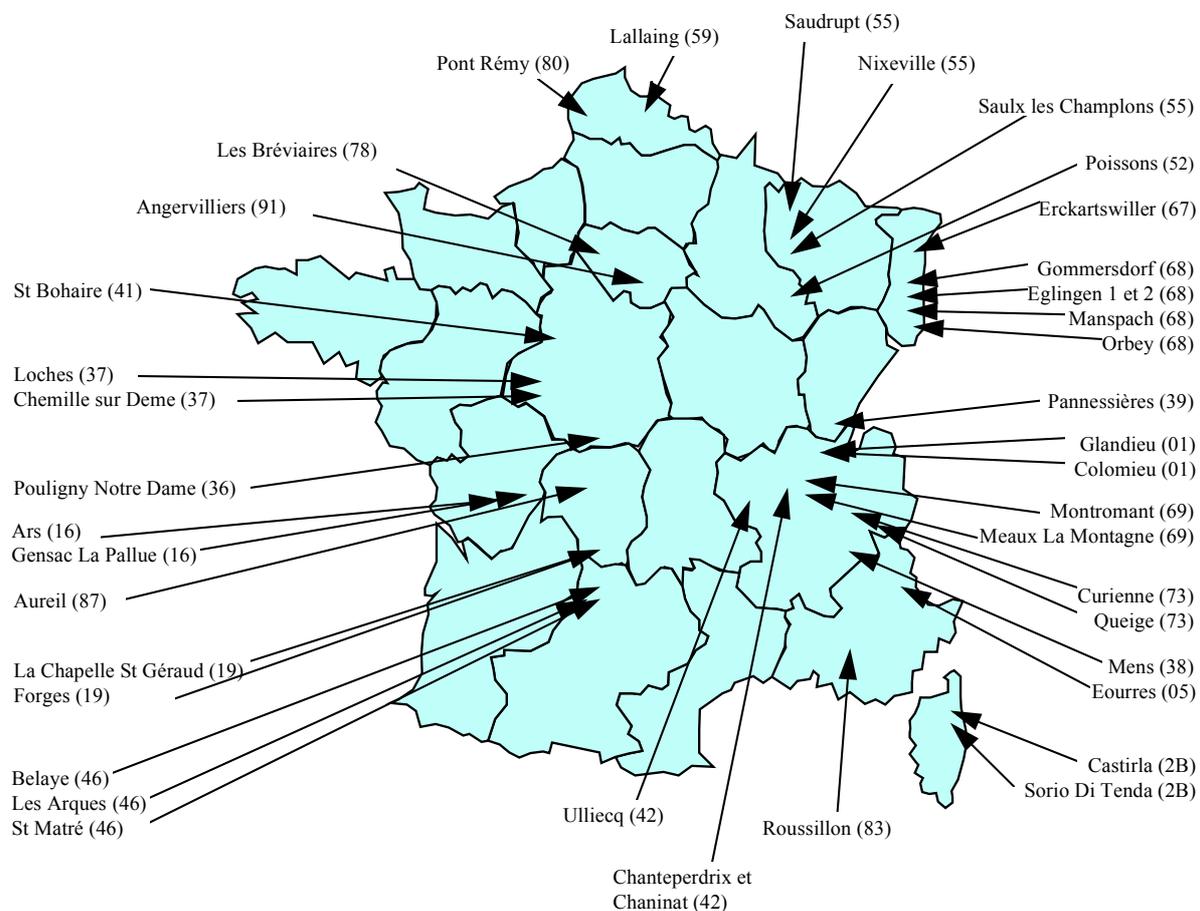
ANNEXE 1 Liste de filtres plantés de macrophytes pour le traitement des eaux en France (1999)

Station	Département	Système	Capacité (E.H.)	Traitement	Concepteur	Conception Mise en service
Adret et l'Ubac (Eourres)	05 Hautes-Alpes	Vertical	130 et 20	Principal	SINT	1998
Aire de repos de Chanteperdrix (Feurs)	42 Loire	Vertical / horizontal	50	Principal après fosse septique	SINT	1998
Aire de Repos des Chaninats (Feurs)	42 Loire	Vertical	50	Principal après fosse septique	SINT	1997
Angervilliers	91 Essone	Vertical / horizontal	2000	Tertiaire après bassin d'aération & sédimentation	SINT	1994
Ars (Louzac-Saint-André)	16 Charente	Vertical	1300	Principal et finition par 2 lagunes	SINT	1999
Aureil	87 Haute-Vienne	Horizontal (Kickuth)	200	Principal	AMT	1994
Belaye	46 Lot	Vertical	30	Principal et finition par 1 lagune	Atelier REEB	?
Castirla	2B Haute-Corse	Vertical	400	Principal	SINT	1999
Chemille-sur-Deme	37 Indre-et-Loire	Vertical	100<EH<500	Principal	BIOEPUR	?
Colomieu	01 Ain	Vertical	200	Principal	SINT	1993
Curienne	73 Savoie	Horizontal	230	Principal	Université Chambéry	1994?
Eglingen 1	68 Haut-Rhin	Vertical / horizontal	150	Secondaire après décanteur/digester	SINT	1994
Eglingen 2	68 Haut-Rhin	Vertical	150	Secondaire après décanteur/digester	SINT	1994
Erckartswiller	67 Bas-Rhin	Vertical	500	Principal	SINT	1999

Forges	19 Corrèze	Vertical	<500	?	BIOEPUR	?
Gensac-La-Pallue	16 Charente	Vertical (Seidel)	1700	Primaire avant 3 lagunes	DDAF/CE MAGREF	1987
Glandieu (Saint-Benoît)	01 Ain	Vertical	200	Principal	SINT	1999
Gommersdorf	68 Haut-Rhin	Vertical / horizontal	400	Tertiaire après 3 lagunes	SINT	1993
La-Chapelle-Saint-Géraud	19 Corrèze	Vertical	<500	?	BIOEPUR	?
Lallaing	59 Nord	Mosaïque Hiérarchisée	15000	Secondaire	ECOTEC HNIC	1990/1992
Les Arques	46 Lot	Vertical	160	Principal	SINT	1998
Les Bréviaires	78 Yvelines	Vertical	150	Principal	SINT	1995
Loches	37 Indre-et-Loire	Vertical	75	Principal	BIOEPUR	?
Manspach	68 Haut-Rhin	Vertical / horizontal	500	Secondaire après décanteur/digesteur	SINT	1994
Meaux-La-Montagne	69 Rhône	Vertical	90	Principal	SINT	1993
Mens	38 Isère	Vertical	150	Eaux décantées	SINT	1993
Montromant	69 Rhône	Vertical	200	Principal	SINT	1994
Nixeville	55 Meuse	Vertical	200	Principal	SINT	1997
Orbey	68 Haut-Rhin	Vertical / horizontal	100	Principal	Atelier REEB	?
Pannessières	39 Jura	Vertical / horizontal (Seidel)	500	Principal	Services locaux	1986/1987
Poissons	52 Haute-Marne	Vertical	1000	Principal	SINT	1995
Pont-Rémy	80 Somme	Vertical	500	?	CEMAGREF	?
Pouligny-Notre-Dame	36 Indre	Vertical	100<EH<500	Principal	BIOEPUR	?
Queige	73 Savoie	Vertical	500	Principal	SINT/DDAF 73	1998

Roussillon	84 Vaucluse	Vertical	1250	Principal	SINT	1998
Saint-Bohaire	41 Loir-et-Cher	Vertical (Seidel)	2*30	Principal	Seidel	1978 et 1982
Saint-Matré	46 Lot	Vertical / horizontal	120	Principal	Atelier REEB	1998
Saudrupt	55 Meuse	Vertical	250	Principal	SINT	1996
Saulx-Les-Champlons	55 Meuse	Vertical	100	Secondaire après lagune facultative	SINT	1995
Sorio-Di-Tenda (Sorìo)	2B Haute-Corse	Vertical	300	Principal	SINT	1999
Ulliecq (Chenereilles)	42 Loire	Vertical	80	Principal	SINT	1998

ANNEXE 2 Localisation des filtres plantés de macrophytes pour le traitement des eaux en France (1999)



**ANNEXE 3 Quelques données de fonctionnement de filtres plantés de macrophytes**

Paramètre	Effluent Station	EB Curienne 1	Eaux Brutes Moyenne Nb de valeurs		filtres horizontaux																			
					ED	ED	ED	ED	ED	ED	ED	ED	ED	ED	ED	ED	ED	ED	ED	ED	ED	ED	ED	ED
					Aurcil 2	Aurriche 3	Pologne 4	Répub Tchèque 5	Allemagne 6	Coromandel 7	Little Stretton 8	Norvège 9	Wetwood 10	Pologne 11	Benton 12	Bluther 13	Borup 14	Emmitsburg 84-86 15	Gerneswang 16	Gravesend 17	Hawkesbury 18	Hjordkaer 19	Holtby 20	Ingstrup 21
MES (mg/l)	Entrée Sortie Rendement	230 9 96%	230 9 96%	1 1 1	116 30 75%	86 10 88%	217 48 78%	239 6 98%	163 21 87%	36 8 77%	78 23 71%	74 6 66%	48 20 87%	225 12 91%	56 23 79%	154 23 85%	30 8 73%	151 66 56%	57 5 92%	205 24 88%				
DCO (mg/l)	Entrée Sortie Rendement	623 40 94%	623 40 94%	1 1 1	444 96 78%	211 43 80%	549 104 81%	379 64 83%	430 95 78%			364 44 68%	184 95 76%	727 44 87%										
DBO <sub>5</sub> (mg/l)	Entrée Sortie Rendement	317 19 94%	317 19 94%	1 1 1	100 15 85%	57 4 93%	163 23 86%	200 21 90%	248 29 88%	78 7 91%	87 13 85%	205 7 87%	74 4 94%	283 9 97%	28 14 50%	221 48 78%	98 39 60%	62 18 71%	235 106 55%	33 5 86%	149 54 64%	238 49 79%	368 18 95%	
N-NT (mg/l)	Entrée Sortie Rendement			0 0 0		91 45 51%	89 44 51%	48 26 46%	115 60 48%		84 8 50%		66 17 74%	17 14 20%	30 23 23%						41 29 29%	112 12 89%		
N-NTK (mg/l)	Entrée Sortie Rendement	70 29 70%	70 29 70%	1 1 1																				
N-N <sub>org</sub> (mg/l)	Entrée Sortie Rendement			0 0 0	118 40 67%		18 9 51%			11 7 37%		4 2 52%	16 4 76%											
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)	Entrée Sortie Rendement	78 44 0	78 44 0	1 1 1	107 34 69%	79 7 91%	24 24 91%		81 29 64%		14 6 55%		19 11 43%	50 13 74%	9 12 -39%					35 11 70%				
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	Entrée Sortie Rendement	5 1	5 1	1 1 0					2 12															
N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	Entrée Sortie Rendement			0 0 0																				
P-PT (mg/l)	Entrée Sortie Rendement	12 3 75%	12 3 75%	1 1 1	15 10 34%	11 3 70%	7 3 49%	16 5 70%		10 80%			6 5 14%	17 4 78%	12 3 76%			14 6 36%	10 7 55%	14 12 32%	7 7 17%	51 3 8%	94%	
P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/l)	Entrée Sortie Rendement			0 0 0			35 16 54%	11 4 65%					9 3 71%											

Effluent		filtres horizontaux														Traitement Secondaire		Traitement Tertiaire								
		ED	ED	ED	ED	ED	ED	ED	ED	ED	ED	ED	ED	ED	ED	Moyenne générale	Nb de valeurs	TB	TB	TB	TB	TB	TB	TB	Moyenne générale	Nb de valeurs
Paramètre	Station	Kalo	Knudby	Lunderskov	Marmhull	Middleton	Moesgard	Ohfresen	Rugballgaard	Santee	Stretton	Valleyfield	Wirzenhausen	Iseln	Ringsted			Ashby Folville	Himley	Leek	Wootton	Thorpe Satchville	Thurleston	Middleton		
MES (mg/l)	Entrée	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	132	22	36	37	38	39	40	41	30	6	
	Sortie				74	30				57	184				380	243	43	39	21	35	21	22	46	4		
	Rendement				22	8				8	22				53	15	6	5	5	6	6	8	6	6		
					71%	73%				86%	88%				86%	94%	81%	87%	87%	77%	84%	72%	65%	79%	6	
DCO (mg/l)	Entrée															411	8	91	100	87	108			97	4	
	Sortie															77	7	49	41	43	52			46	4	
	Rendement															79%	8	47%	59%	50%	52%			52%	4	
DBO <sub>5</sub> (mg/l)	Entrée	75	142	52	87	11	106		470	118	160			140	189	149	30	16	20	11	15	12	9	14	6	
	Sortie	36	29	23	15	3	22	7 à 17	39	19	18			17	13	24	29	3	3	2	4	4	2	3	6	
	Rendement	52%	80%	56%	83%	73%	79%	98%	92%	84%	89%	77%	88%	88%	93%	81%	34	82%	87%	79%	76%	66%	75%	77%	6	
N-N T (mg/l)	Entrée	45	38	14			45		89	28					48	59	17								0	
	Sortie	40	27	6			30	3 à 14	33	2					24	27	16								0	
	Rendement	11%	29%	57%			33%	81%	63%	93%					49%	49%	19								0	
N-N TK (mg/l)	Entrée															0	0	9	7		11			9	3	
	Sortie															0	0	7	3		7			6	3	
	Rendement															0	0	0	1		0			0	3	
N-N <sub>org</sub> (mg/l)	Entrée															33	5	17	12	27	24	16	23	20	6	
	Sortie															12	5	14	8	18	20	13	15	15	6	
	Rendement															56%	5	14%	35%	34%	19%	19%	35%	26%	6	
N-N H <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)	Entrée				29	3				25				30	34	39	13	6	2	7	7	3	3	4	6	
	Sortie				27	2				8				13	15	15	14	6	1	3	5	2	1	3	6	
	Rendement				6%	46%				67%				57%	55%	50%	13	1%	38%	54%	20%	26%	78%	36%	6	
N-N O <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	Entrée														0	1	2								0	
	Sortie														7	17	3								0	
	Rendement																								0	
N-N O <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	Entrée																0								0	
	Sortie																0								0	
	Rendement																								0	
P-PT (mg/l)	Entrée	9	13	4		11	7	1	18					13	15	13	22	7	9	13	8	5	11	9	6	
	Sortie	9	8	2		8	4	1	3					4	8	5	21	4	8	13	5	5	10	7	6	
	Rendement	5%	40%	43%		30%	42%	42%	83%			61%	40%	68%	48%	49%	25	41%	9%	3%	37%	14%	14%	20%	6	
P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/l)	Entrée															18	3	6	8	13	7		11	9	5	
	Sortie															7	3	4	8	13	5		10	8	5	
	Rendement															63%	3	29%	1%	0%	36%		11%	15%	5	

Paramètre	Station	filtres verticaux												systèmes hybrides													
		EB			Traitement Primaire			EB			Traitement principal		ED	Traitement secondaire		TB	Traitement tertiaire		EB	EB	Traitement principal		ED	ED	ED	Traitement Secondaire	
		Gensac	Moyenne générale	Nb de valeurs	Montromant	Roussillon	Eoures	Moyenne	Nb de valeurs	Aurriche	Moyenne	Nb de valeurs	Medmenham	Moyenne générale	Nb de valeurs	Pannessières	Saint-Bohaire	Moyenne	Nb de valeurs	Pologne	Manspach	Oaklands Park	Moyenne générale	Nb de valeurs			
MES	Entrée	423	423	1	216	220	303	246	3	121	121	1	25	25	1	187	272	230	2	200	47	213	153	3			
	Sortie	48	48	1	17	0	10	9	3	10	10	1	8	8	1	13	21	17	2	38	3	4	15	3			
	Rendement	88%	88%	1	92%	100%	97%	96%	3	92%	92%	1	69%	69%	1	93%	92%	93%	2	81%	93%	98%	91%	3			
DCO	Entrée	767	767	1	491	573	462	509	3	325	325	1			0	400	748	574	2	460	78		269	2			
	Sortie	153	153	1	61	20	46	42	3	33	33	1			0	75	112	94	2	64	27		46	2			
	Rendement	80%	80%	1	88%	97%	90%	91%	3	90%	90%	1			0	81%	85%	83%	2	86%	65%		76%	2			
DBO <sub>5</sub>	Entrée	336	336	1	203	334	219	252	3	117	117	1	22	22	1	320	287	304	2	268	17	246	177	3			
	Sortie	54	54	1	21	1	5	9	3	5	5	1	5	5	1	9	28	19	2	24	4	3	10	3			
	Rendement	84%	84%	1	90%	100%	98%	96%	3	96%	96%	1	77%	77%	1	97%	90%	94%	2	91%	76%	99%	88%	3			
N-NT	Entrée			0	48			48	1	86	86	1			0				0	77			77	1			
	Sortie			0	35			35	1	55	55	1			0				0	20			20	1			
	Rendement			0	27%			27%	1	36%	36%	1			0				0	1			1	1			
N-NT <sub>k</sub>	Entrée	85	85	1	44		57	51	2			0			0	45	64	55	2		13		13	1			
	Sortie	50	50	1	9	1	3	5	3			0			0	26	31	29	2		3		3	1			
	Rendement	41%	41%	1	79%		95%	87%	2			0			0	42%	51%	47%	2		81%		81%	1			
N-N <sub>org</sub>	Entrée			0					0			0			0				0	76			76	1			
	Sortie			0					0			0			0				0	8			8	1			
	Rendement			0					0			0			0				0	89%			89%	1			
N-NH <sub>4</sub>	Entrée	66	66	1	31			31	1	72	72	1	7	7	1		44	44	1	36		58	47	2			
	Sortie	32	32	1	6			6	1	5	5	1	2	2	1		28	28	1	6		14	10	2			
	Rendement	52%	52%	1	82%			82%	1	94%	94%	1	77%	77%	1		37%	37%	1	84%		76%	80%	2			
N-NO <sub>3</sub>	Entrée			0	3			3	1			0			0	3	0	1	2		1		1	1			
	Sortie	2	2	1	25			25	1	48	48	1			0	7	0	4	2		11		11	1			
	Rendement			0					0			0			0			0						0			
N-NO <sub>2</sub>	Entrée			0	0			0	1			0			0		0	0	1		1		1	1			
	Sortie	4	4	1	2			2	1			0			0		0	0	1		0		0	1			
	Rendement			0					0			0			0			0						0			
P-PT	Entrée	18	18	1	9		17	13	2	11	11	1			0	15	16	15	2		3		3	1			
	Sortie	13	13	1	6		3	4	2	4	4	1			0	7	20	13	2		2		2	1			
	Rendement	24%	24%	1	29%		83%	56%	2	63%	63%	1			0	55%	-22%	16%	2		20%		20%	1			
P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Entrée			0	6			6	1			0			0	29	8	18	2		3	2	8	4	3		
	Sortie			0	6			6	1			0			0	29	16	23	2		2	2	4	3	3		
	Rendement			0	0			0	1			0			0	-2%	-108%	-55%	2		44%	22%	51%	39%	3		