

# Filières d'épuration pour petites collectivités : les cultures fixées sur supports fins

Catherine Boutin<sup>1</sup>, Alain Liénard<sup>1</sup> et Jacques Lesavre<sup>2</sup>

La France se distingue de la plupart des pays européens par une densité de population faible et de vastes territoires agricoles. On dénombre jusqu'à 32 000 communes de moins de 2 000 habitants (Duchène *et al.*, 1997).

Jusqu'à un passé récent, les communes rurales françaises de population inférieure à 2 000 équivalents-habitants (EH) se sont essentiellement tournées vers le lagunage naturel et les petites stations à boues activées en aération prolongée.

On dénombre désormais près de 2 500 installations de lagunage dont la taille moyenne s'établit dans l'intervalle, à 600-700 EH. (Cemagref *et al.*, 1997). La station d'épuration par lagunage présente le gros intérêt de pouvoir être entretenue par un personnel n'ayant pas de formation spécialisée. En revanche, elle offre un rejet dont la qualité exprimée par la concentration en DCO filtrée (encadré 1) ne doit pas, d'un point de vue réglementaire, excéder 125 mg.l<sup>-1</sup>.

Quant aux boues activées en aération prolongée, elles sont d'une très grande efficacité et fournissent un effluent d'une qualité très correcte pour l'ensemble des paramètres DCO, DBO<sub>5</sub>, MES, NGL et PT (sous réserve d'ajouts de produits chimiques pour ce dernier paramètre). Pour atteindre de tels objectifs, une exploitation rigoureuse, effectuée par un personnel compétent, est indispensable. Le coût d'une telle exploitation, nécessaire pour maintenir la fiabilité de fonctionnement n'est pas supportable pour nombre de communes de taille inférieure à 1 000 EH (Duchène *et al.*, 1997).

Les filières de traitement de types lit bactérien et disques biologiques sont relativement peu développées.

Les maîtres d'œuvre ont cherché à développer de nouvelles techniques qui allient à la fois les bonnes performances de la technique d'épuration par boues activées et la simplicité d'exploitation du lagunage naturel. Ils proposent :

- d'une part, de développer l'infiltration-percolation sur sable, ce qui fut fait au début des années 1980 avec la première installation à Port-Barcarès inspirée des travaux américains (EPA, 1981) et ;
- d'autre part, d'étudier les possibilités d'extrapolation vers l'assainissement collectif, des systèmes cantonnés à l'assainissement non collectif unifamilial (Racault *et al.*, 1990).

1. Cemagref, 3bis quai Chauveau, CP 220, 69336 Lyon Cedex 09

2. Agence de l'eau Seine-Normandie, 51 rue Salvador Allende, 92027 Nanterre Cedex

## Encadré 1

DCO = demande chimique en oxygène

DBO<sub>5</sub> = demande biologique en oxygène (pendant 5 jours)

MES = matières en suspension

NGL = azote global (organique + minéral)

N-NK = azote Kejdhal (organique + ammoniacal)

N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> = azote ammoniacal

N-NO<sub>3</sub> = azote nitrates

PT = phosphore total

d<sub>10</sub> = diamètre de la maille du tamis retenant 10 % de la masse (du sable)

d<sub>60</sub> = diamètre de la maille du tamis retenant 60 % de la masse (du sable)

CU = Coefficient d'Uniformité = d<sub>60</sub>/d<sub>10</sub>

## Le contexte

Le *Cemagref* dispose, depuis plusieurs dizaines d'années, d'une expérience dans le domaine du traitement des eaux usées adapté aux besoins particuliers des petites collectivités. C'est dans ce contexte et dans un esprit d'aide à la décision publique qu'a été réalisé un document de synthèse (Boutin *et al.*, 1998) à la demande du ministère chargé de l'Agriculture. Par ailleurs, l'Agence de l'eau Seine-Normandie a également effectué une synthèse sur le thème des filières d'épuration intensives proposées aux petites collectivités (Thiery *et al.*, 1998).

Cet article devrait contribuer à mieux faire connaître les filières d'épuration les plus récentes, et répondant à la dénomination « cultures fixées sur support fins » tout en signalant les conclusions des dernières études relatives aux caractéristiques des matériaux à utiliser (Liénard *et al.*, 2000). Pour obtenir des renseignements sur les autres filières (boues activées, lagunage, lit bactérien...), il convient de se reporter aux documents de synthèse et/ou à la bibliographie spécialisée mentionnée à la fin du présent article.

## Les principes de fonctionnement des cultures fixées sur supports fins

Le principe de fonctionnement repose sur la présence de bactéries aérobies fixées sur des supports minéraux, inertes, rapportés ou en place, de faible taille (de l'ordre de quelques millimètres pour les graviers jusqu'à quelques dizaines de microns pour les sols en place).

Le développement bactérien est contrôlé par un faible apport de charge organique à traiter ce qui revient à limiter la quantité de nourriture disponible. De plus, une auto-régulation des bactéries, pendant des phases de non-alimentation ou de repos, se met en place et permet d'éviter les rejets en MES en sortie immédiate des filtres. Le fonctionnement alterné des filtres conduit effectivement au contrôle du développement de la biomasse, contrainte à consommer ses réserves et à passer en état de respiration endogène (Boutin *et al.*, 1997).

Les interstices granulaires ne sont pas de taille suffisante (quelques mm) pour permettre une

ventilation naturelle ; le maintien des conditions aérobies se fait majoritairement par diffusion des molécules de gaz entre l'air ambiant et le massif filtrant.

## Les caractéristiques générales communes aux différentes techniques

La recherche d'une grande fiabilité de fonctionnement, d'un niveau de traitement élevé et d'une relative simplicité de mise en œuvre et d'exploitation, ainsi que la petite taille des matériaux supports, imposent des critères de conception et de fonctionnement spécifiques :

- apport de très faibles charges organiques pour contrôler le développement de la biomasse ;
- fonctionnement alterné de deux ou trois réacteurs en parallèle.

En outre, le fractionnement du réacteur en plusieurs massifs filtrants facilite, dans une certaine mesure, la nécessaire répartition de flux d'eaux usées sur des surfaces relativement importantes.

De tels apports ne peuvent pas être distribués de façon uniforme sur la surface si les eaux usées arrivent simplement au fil de l'eau ; il est donc nécessaire de les stocker temporairement et de les envoyer à fort débit pendant un temps limité. Ce processus s'appelle « l'alimentation par bâchées ». Les dispositifs utilisés pour vider le bassin de stockage sont variés (siphon auto-amorçant, pompes, électrovannes couplées à des détecteurs de niveaux). Pour les petites installations, un auget basculant assure à la fois réservoir et stockage d'un volume généralement limité à plusieurs centaines de litres.

## Les critères de différenciation des techniques

On dénombre cinq filières qui répondent à ces caractéristiques communes :

- l'infiltration-percolation sur sable (IP) ;
- les filtres enterrés (FE) ;
- l'épandage souterrain (ESout) ;
- l'épandage superficiel (Esup) et ;
- les filtres plantés de roseaux (FPR).

Le dimensionnement de ces techniques est fonction de deux critères principaux :

- la nature du matériau ;
- la visibilité de la plage d'infiltration.

**■ Nature et caractéristiques du matériau support de biomasse**

Deux types de matériaux sont utilisés : matériaux rapportés (sable, graviers...) et sol en place.

Le sable, le plus souvent mis en place sur une hauteur de 70 cm minimum, doit être lavé, roulé et non calcaire ; ses caractéristiques granulométriques doivent satisfaire aux conditions suivantes (Liénard *et al.*, 2000) :

$$0,25 < d_{10} < 0,4 \text{ mm ;}$$

$$3 < CU < 5.$$

Les fines, particules de taille inférieure à 80 µm, seront préalablement éliminées.

Les critères énoncés ci-dessus ont été affinés récemment et sont encore susceptibles d'évoluer. Pourtant, cette fourchette semble actuellement représenter un compromis acceptable permettant de concilier efficacité et fiabilité de traitement, et disponibilité locale dans un périmètre compatible avec des frais de transport raisonnables.

- IP et FE sont garnis de ce type de sable ;
- FPR utilise du gravier au premier étage et du sable de la qualité définie ci-dessus au deuxième étage.

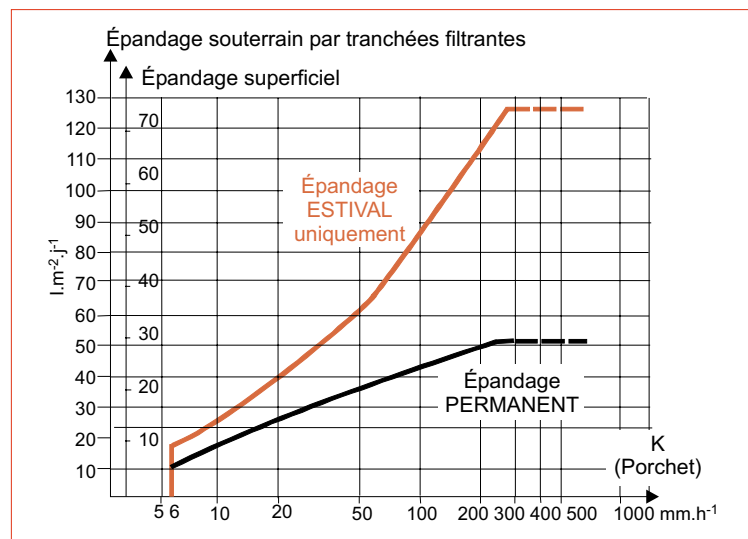
Pour chacune de ces 3 filières, la surface requise est fixée indépendamment de la nature du matériau utilisé sous réserve que ce dernier réponde aux critères ci-dessus. Elle varie de 1,5 m<sup>2</sup> à 3 m<sup>2</sup>/EH selon les techniques.

Les bassins des filières décrites ci-après sont étanchés et drainés en vue de permettre un contrôle de la qualité de l'effluent. Pourtant, dans certaines situations et plus particulièrement en cas d'absence d'exutoire de surface, les bassins peuvent ne pas être étanchés. Dans ce cas, il conviendra de conduire des études préalables complètes afin de s'assurer qu'il est effectivement possible d'évacuer les eaux traitées dans le sous-sol. Si les conclusions des études préalables n'apportent aucune restriction d'ordre hydrodynamique, il ne sera pas nécessaire de surdimensionner l'ouvrage de traitement par rapport aux bases retenues pour un rejet dans un milieu récepteur de surface.

Lorsque le support est constitué par le sol en place, les caractéristiques de ce dernier, en terme de perméabilité (K : coefficient de perméabilité en mm.h<sup>-1</sup>) interviendront bien évidemment dans le dimensionnement, ce qui conduit d'ailleurs à minorer de manière sensible les charges surfaciques appliquées. Il est en effet peu probable de trouver en place un support, adapté à l'épuration, qui présenterait une perméabilité supérieure à celle d'un sable choisi. Après avoir réalisé une étude qualitative approfondie du sol en place et du sous-sol (niveau maximum de la nappe phréatique, pente du sol, hauteur de sol utile...) grâce à plusieurs profils (Crites *et al.*, 1998), des tests de perméabilité à l'eau claire (test de Porchet) sont réalisés dans la hauteur du sol correspondante à la zone active en épuration. Ils permettent de définir le coefficient de conductivité hydraulique K.

Les études préalables d'ordre qualitative et quantitative sont nécessaires, d'une part pour évaluer le risque de pollution de nappe phréatique en fonction de ses usages existants ou potentiels, et d'autre part pour s'assurer que les flux pourront être évacués sans compromettre le fonctionnement du réacteur. Connaissant ce coefficient, l'abaque, ci-dessous en figure 1, utilisée en France (Gril, 1982) définit le débit d'eaux usées, admissible par surface de sol mouillé dans les cas des épandages souterrain et superficiel.

▼ Figure 1 – Dimensionnement des épandages selon la perméabilité du sol (Gril, 1982).



Une expérience québécoise comparable conduit à définir des charges hydrauliques équivalentes pour des sols dont la perméabilité est comprise entre 6 et 50 mm.h<sup>-1</sup>. Pour des perméabilités supérieures, les charges applicables proposées en France sont de 10 % supérieures à celles retenues au Québec. Par ailleurs, au Québec, la méthodologie de dimensionnement est complétée par une étude granulométrique du sol en place (Société québécoise d'assainissement des eaux, 1991).

Pour un épandage superficiel, on utilisera le même abaque qui conduit à appliquer des charges surfaciques hydrauliques plus faibles. Des fossés de 30 à 50 cm de profondeur, ou billons, seront judicieusement creusés, de préférence le long des courbes de niveau, dans la surface totale définie grâce à l'abaque.

### ■ **La visibilité (ou non-visibilité) de la plage d'alimentation du massif filtrant**

On rencontre deux cas de figures :

- soit la plage de dispersion de l'eau à traiter est visible et volontairement maintenue à l'air libre ;
- soit la plage de dispersion de l'eau à traiter n'est pas visible ; elle est volontairement recouverte d'un matériau (gravier ou sol enherbé).

La complexité des processus biologiques et hydrauliques, en milieu non saturé, est telle que les préconisations de conception doivent intégrer des facteurs de sécurité fondés sur une analyse pragmatique d'installations en vraie grandeur.

L'accessibilité du massif filtrant et la possibilité d'entretenir la plage d'infiltration sont, avec la nature extensive du procédé, encore aujourd'hui les plus sûrs moyens d'assurer la maîtrise des phénomènes de colmatage. Pour les systèmes où l'alimentation est enterrée, des considérations sécuritaires (limitation des risques de colmatage) conduisent à réduire les charges surfaciques de moitié, pour un support ayant les mêmes caractéristiques que celui utilisé avec une alimentation à l'air libre.

### **Le traitement primaire**

La plupart des filières de traitement de type cultures fixées sur supports fins doivent normalement être précédées d'un étage de traitement

primaire qui assure la rétention de la fraction décantable des matières en suspension (rendement de 50 % sur les MES). Le dispositif le plus couramment utilisé est un décanteur-digester de type fosse Imhoff (DD), dont la partie décanteur est classiquement dimensionnée pour une vitesse ascensionnelle de 1,1 m.h<sup>-1</sup> et un temps de séjour de 1 heure au débit de pointe. Le volume de la partie digester est de 90 I/EH pour une vidange tous les six mois.

Cependant, pour les collectivités de taille inférieure ou égale à 200 EH, le traitement primaire peut être assuré par une fosse septique toutes eaux (FSTE) conçue avec un seul compartiment et dimensionnée hydrauliquement pour un temps de séjour de 3 jours. Les dispositifs d'entrée et de sortie sont étudiés pour limiter les turbulences, éviter la remise en suspension des boues et le départ de matières flottantes. Un préfiltre est installé à l'aval de la fosse septique, avant le stockage indispensable à l'alimentation par bâchées. Ce préfiltre n'assure aucune fonction de prétraitement et fonctionne seulement comme « fusible », permettant de limiter encore les risques de colmatage liés à des départs intempestifs de boues dans le système de distribution.

Pour prévenir les nuisances olfactives, une fosse septique est normalement suivie d'une filière de traitement dont la plage d'alimentation est recouverte d'un matériau inerte (sable, gravier...).

Dans le cas de l'épandage superficiel (réservé à des très petites collectivités), l'usage d'un traitement préalable n'est pas systématique.

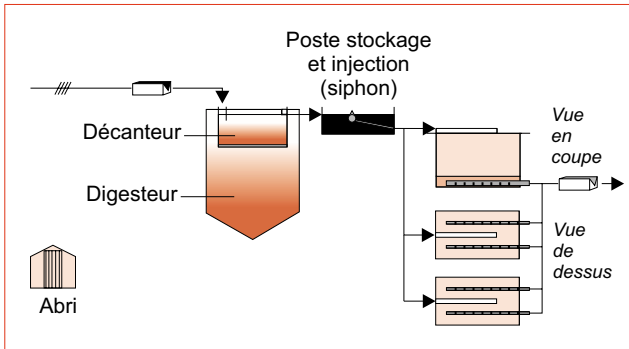
### **Les principaux critères de dimensionnement**

Les figures 2, 3, 4 et 5 fournissent un descriptif rapide de quatre techniques.

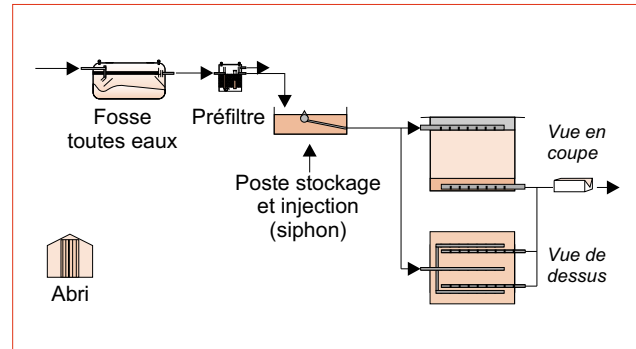
### ■ **Le cas particulier des filtres plantés de roseaux**

Parmi les systèmes à cultures fixées sur supports fins alimentés à l'air libre, les filtres plantés de roseaux (figure 6) occupent une place particulière à deux titres :

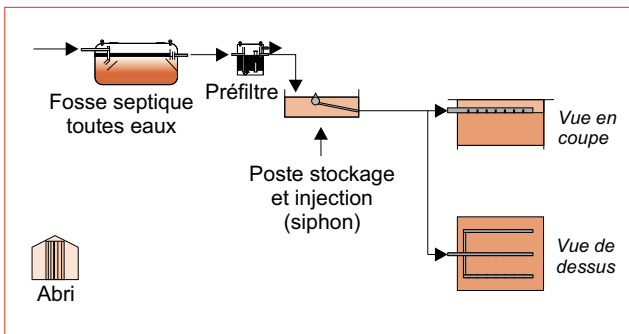
- leur mise en œuvre en tant que filière à part entière nécessite impérativement 2 étages en série ;



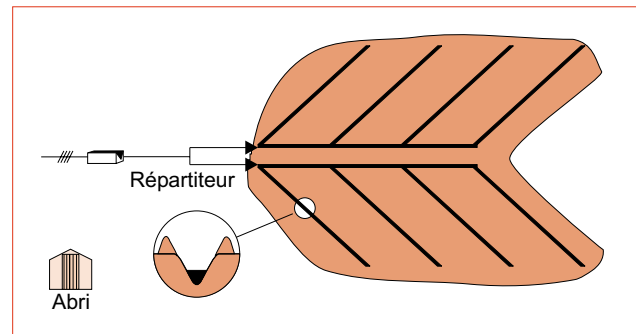
▲ Figure 2 – Infiltration-percolation sur sable.



▲ Figure 3 – Filtres enterrés.



▲ Figure 4 – Épandage souterrain.

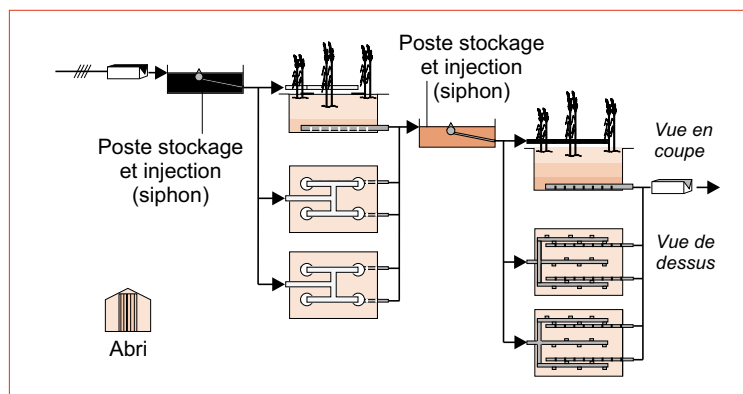


▲ Figure 5 – Épandage superficiel.

– le premier étage est alimenté avec des eaux usées brutes ayant subi un simple dégrillage ; il n'est pas pour autant nécessaire d'entretenir régulièrement la plage d'infiltration. L'expérience prouve que les dépôts se minéralisent sous le couvert des roseaux et dans l'espace souterrain, généralement appelé « rhizosphère » (Boutin *et al.*, 1997). Cette couche superficielle de « compost » ne réduit pas les capacités d'infiltration du système.

En résumé, les cinq filières répondant à la terminologie « cultures fixées sur supports fins » sont décrites dans le tableau 1 (p. 8). Les charges journalières surfaciques appliquées exprimées en  $g\ DBO_5 \cdot m^2 \cdot j^{-1}$  sont extrapolées des valeurs empiriques courantes exprimées généralement en  $m^2/EH$ .

La charge journalière appliquée aux filtres enterrés se situe dans la fourchette haute de l'intervalle retenu ( $2,5-10\ g\ DBO_5 \cdot m^2 \cdot j^{-1}$ ) par Crites *et al.* (1998) pour des techniques similaires dénommées *intermittent sand filters*. La différenciation entre IP et FE est rarement faite. Cela conduit à préconiser (Van Buuren *et al.*, 1999), pour des systèmes enterrés ou à l'air li-



▲ Figure 6 – Les filtres plantés de roseaux.

bre des taux de charge surfaciques relativement imprécis :  $5\ à\ 20\ g\ DBO_5 \cdot m^2 \cdot j^{-1}$ . Nous considérons que la limite basse s'adresse plutôt aux FE et que la limite haute à IP.

L'épandage superficiel est comparable à la technique « Land treatment slow rate process » (Crites *et al.*, 1998) pour laquelle les charges appliquées, également fonction de la nature

► Tableau 1 – Les cultures fixées sur supports fins.

|                            | Visibilité | Matériaux     | Charge appliquée par rapport à la surface totale des massifs  |
|----------------------------|------------|---------------|---|
| Infiltration-percolation   | oui        | sable         | DD + 25 g DBO <sub>5</sub> .m <sup>2</sup> .j <sup>-1</sup> (a)   |
| Filtres enterrés           | non        | sable         | FSTE ou DD + 12,5 g DBO <sub>5</sub> .m <sup>2</sup> .j <sup>-1</sup> (a ou b)  |
| Épandage souterrain        | non        | sol en place  | FSTE ou DD + charge surfacique selon K (b,c)  |
| Épandage superficiel       | oui        | sol en place  | DD + charge surfacique selon K (b,d)  |
| Filtres plantés de roseaux | oui        | gravier/sable | 40g DBO <sub>5</sub> /[1 m <sup>2</sup> (1 <sup>er</sup> étage) + 0,6 m <sup>2</sup> (2 <sup>e</sup> étage)]j <sup>-1</sup> (a) |

FSTE : fosse septique toutes eaux

DD : décanteur-digesteur

K : coefficient de perméabilité en mm.h<sup>-1</sup>

(a) fractionnement en trois unités

(b) fractionnement en deux unités

(c) exemple pour un K moyen de 50 mm.h<sup>-1</sup> :  
3,7 g DOB<sub>5</sub>.m<sup>2</sup> (dont 0,44 m<sup>2</sup> de fond de tranchées).j<sup>-1</sup>

(d) exemple pour un K moyen de 50 mm.h<sup>-1</sup> :  
5 g DOB<sub>5</sub>.m<sup>2</sup>.j<sup>-1</sup>

du sol et de sa perméabilité, sont généralement inférieures à 1,1 g DBO<sub>5</sub>.m<sup>2</sup>.j<sup>-1</sup>. Les charges appliquées aux FPR sur le territoire français, également appelés « filtres plantés à flux vertical » sont équivalentes à celles utilisées en Europe. La limite de 75 g BOD<sub>5</sub>.m<sup>2</sup>.j<sup>-1</sup> a été fixée par Vymazal *et al.* en 1998.

### Quelques exemples de dimensionnement de filtre

#### ■ Les lits d'infiltration-percolation sur sable

Pour une collectivité de 400 EH, réputée rejeter, par jour, 60 m<sup>3</sup> d'eaux usées et une charge organique de 20 kg de DBO<sub>5</sub> :

– volume de stockage : 10 à 20 m<sup>3</sup> selon le nombre de bâchées (3 à 6 par jour) ;

– 3 lits d'une surface unitaire de 200 m<sup>2</sup> (par exemple : 20 m x 10 m).

On peut obtenir une équi-répartition correcte, même avec un système de distribution rudimentaire tel qu'une goulotte centrale à débordement : il convient qu'elle soit placée dans le sens de la longueur du lit et que le débit d'alimentation ramené à la surface du filtre en fonctionnement (vitesse horaire) soit au moins égale à 1 m<sup>3</sup>/h par m<sup>2</sup>. De plus, on tient compte de la granulométrie (et plus particulièrement du d<sub>10</sub>) pour fixer ce débit de vidange de l'ouvrage de

stockage. Ce débit doit croître avec la valeur du d<sub>10</sub>. Si la mise en place d'un tel équipement n'est pas possible, il faut alors découper la surface unitaire afin d'obtenir des surfaces réduites compatibles techniquement avec l'usage du dispositif de vidange prévu.

#### ■ Les filtres enterrés

Pour une collectivité de 120 EH, rejetant, par jour, 18 m<sup>3</sup> d'eaux usées et une charge de 6 kg de DBO<sub>5</sub> :

Surface totale des filtres enterrés de 360 m<sup>2</sup>, avec réalisation d'un réseau de distribution permettant de scinder la plage d'infiltration en 2 voire 3 plateaux.

Alimentation par bâchées, sous basse pression (charge à l'extrémité du réseau comprise entre 1 et 2 m de hauteur d'eau, on retiendra 1 m pour les calculs ci-après). Le volume d'une bâchée pourrait atteindre 10 fois le volume du réseau de distribution.

Le réseau horizontal comporte :

- des rampes de distribution identiques munies d'orifices de diamètre 7 mm, espacés de 1m ;
- un porte-rampes connecté au système de mise en pression et sur lequel les rampes de distribution sont raccordées tous les mètres.

Pour garantir une bonne équi-répartition de l'effluent, le choix des diamètres des rampes et du



porte rampe est réalisé sur la base d'une perte de charge maximale de 10 % entre les points extrêmes du réseau de distribution.

Les résultats dépendent de la conception du réseau (alimentation centrale, latérale) et de la forme de la surface d'épandage qui peut s'adapter au contour du terrain disponible. Sur la base des hypothèses retenues, le diamètre des rampes sera de 40 mm et celui du porte-rampes, selon la nature du réseau, compris entre 110 et 150 mm (Hombourger *et al.*, 1998).

Une vérification visuelle des conditions d'alimentation, avant couverture du massif est indispensable. Par la suite, cette vérification peut aisément s'effectuer en disposant des prises de pression à l'extrémité des rampes.

### La qualité du rejet

Les capacités d'infiltration d'un massif filtrant sont limitées au plan hydraulique. Par conséquent, il est préférable d'implanter les systèmes à cultures fixées sur supports fins à l'aval de réseaux d'assainissement séparatifs.

Lorsque les systèmes de traitement par cultures fixées sur supports fins sont dimensionnés, conçus et exploités dans les règles de l'art, ils sont capables de délivrer un effluent de grande qualité, que l'on peut quantifier dans les cas de bassins étanchés et drainés :  $DBO_5 < 25 \text{ mg.l}^{-1}$ ;  $DCO < 125 \text{ mg.l}^{-1}$ ;  $MES < 30 \text{ mg.l}^{-1}$ ;  $N-NH_4^+ < 10 \text{ mg.l}^{-1}$  (Guilloteau *et al.*, 1993 ; Vymazal *et al.*, 1998).

Corrélativement, on observe normalement des concentrations relativement importantes de nitrates ( $N-NO_3^-$ ) notamment au début de chaque phase d'alimentation, où il se produit un « lessivage de nitrates », résultant de l'oxydation pendant la phase de repos des sels ammoniacaux retenus dans le massif. Les abattements sur l'azote global sont, de ce fait, très fluctuants (Schwager *et al.*, 1997). Souvent négatifs au début d'une phase d'alimentation, les rendements augmentent généralement vers la fin (jusqu'à 70 % en infiltration-percolation sur sable) lorsque les conditions sont moins oxydantes et que la nitrification baisse. La nitrification est prioritairement affectée, si les conditions de fonctionnement viennent à se détériorer de fa-

çon notable et permanente. Si, en fin de la phase d'alimentation, les concentrations de nitrates sont toujours supérieures à celles des sels ammoniacaux (exprimés sous forme élémentaire en azote), on peut conclure au bon fonctionnement des installations par cultures fixées sur supports fins.

Ces mesures sont un excellent indice de la « santé des installations ». Elles seront mentionnées dans le cahier d'exploitation en même temps que les jours d'alternance et le nombre de bâchées reçu par chaque massif.

Pour tous les systèmes sur matériaux rapportés, l'abattement du phosphore est normalement faible. Il peut être assez élevé pendant un certain temps après la mise en eau si le sable contient du fer ou de l'aluminium, mais il décroît inexorablement par la suite, avec la saturation progressive des sites d'adsorption des orthophosphates.

Dans les systèmes sur sol en place, par définition non drainés, un échantillonnage représentatif de la qualité du rejet n'est pas aisé. Sur la base d'études de sites instrumentés, notamment à l'étranger et sous réserve d'avoir procédé au préalable à des études complètes d'ordre pédologiques, géologiques et hydrogéologiques sur le site retenu, les performances peuvent être globalement meilleures que sur matériaux rapportés. L'élimination de la matière organique atteint 98 % (Crites *et al.*, 1998). Nitrates et chlorures sont alors transférés dans le milieu souterrain après la dégradation très complète de la matière organique.

### Un domaine d'application privilégié

Les filtres enterrés, l'épandage souterrain et l'épandage superficiel traitent des effluents de collectivité dont la taille n'excède généralement pas 400 EH. Les deux premières techniques ont une très bonne intégration paysagère. Leurs implantations restent limitées au petit collectif du fait du contrôle difficile d'une distribution optimisée. La limitation de taille de l'épandage superficiel est à relier aux raisons esthétiques d'un simple épandage dans un lieu très peu fréquenté.

L'infiltration-percolation et les filtres plantés de roseaux peuvent traiter des eaux usées issues

d'une gamme de population plus large, allant de quelques dizaines d'habitants jusqu'à un peu plus de 2 000 EH.

### L'exploitation

La contrainte d'exploitation la plus importante est incontestablement le changement régulier d'alimentation du réacteur en service qui doit être réalisé au moins chaque semaine et de préférence deux fois par semaine lorsque l'installation comporte 3 réacteurs en parallèle. Pour les filières qui reçoivent une charge appliquée très faible et lorsqu'elles sont utilisées pour des très petites collectivités (inférieures à 100 EH), les figures 3, 4 et 5 préconisent un fractionnement des massifs limité à seulement deux unités au lieu des trois cités plus haut. Cette proposition reflète le choix, dans cette situation, de limiter les contraintes d'exploitation et permet alors un simple passage hebdomadaire.

Ensuite, outre la surveillance générale nécessaire et l'entretien des abords, il convient de vérifier le bon fonctionnement du dispositif d'alimentation par bâchées et la répartition de l'influent pour les filières dont la plage d'infiltration est à l'air libre. La mise en place d'un compteur de bâchées et le relevé régulier des index y contribuent. Les systèmes enterrés doivent être munis de prises de pression à l'aval des tubes de distribution dont il faut contrôler épisodiquement la mise en charge.

Le nettoyage des prétraitements (dégrillage) et le contrôle régulier des niveaux de boues accumulés dans les ouvrages de traitement primaire est également un maillon essentiel à la fiabilité du traitement surtout pour les systèmes enterrés.

En infiltration-percolation sur sable, on procédera à une scarification et/ou à l'enlèvement de la couche de dépôts superficiels. Pour les filtres plantés de roseaux alimentés en eaux usées brutes, le faucardage annuel de la partie aérienne des plantes se réalisera au cours de l'hiver. Il faut procéder également, à échéance d'une dizaine d'années, à l'enlèvement des dépôts accumulés ayant subi une intense minéralisation aérobie qui réduit leur masse d'environ 65 %. L'extraction réalisée à Gensac-la-Pallue, en 1996 (Boutin *et al.*, 1997) a prouvé la faisabilité de cette opération et la reprise d'un fonctionne-

ment normal de la station sans qu'il soit nécessaire de replanter les roseaux ; de nouvelles tiges se développent à nouveau à partir des nœuds des rhizomes restés en place.

Une estimation des coûts d'exploitation basée sur la prestation minimale indispensable à chacune des filières a fait l'objet d'une méthodologie détaillée (Alexandre, 2000). Cette évaluation s'applique aux filières conçues pour fonctionner sans électricité : le dispositif d'alimentation des filtres est un siphon auto-arnorçant, un auget basculant ou un système équivalent. Pour chaque ouvrage des différentes filières (prétraitement, décanteur ou fosse septique toutes eaux...) et pour différentes tailles de station d'épuration, ont été établis :

- une fréquence minimale d'entretien ;
- la durée de l'action correspondante ainsi que ;
- le degré de qualification du personnel devant réalisé la tâche.

Les trois tarifications de personnel sont les suivantes :

- main d'œuvre courante : 15,24 Euros/heure ;
- technicien spécialisé : 22,87 Euros/heure ;
- hydrocurage : 68,60 Euros/heure.

Les coûts d'exploitation, en relation avec la taille de la station sont relatés dans le tableau 2. En-dessous de 400 EH, la durée de la maintenance ne peut plus être réduite, elle est la même pour les plus petites tailles. De ce fait, les coûts pour les stations de taille 100 EH sont estimés à partir de la prestation minimale définie pour 400 EH.

Ces coûts d'exploitation n'englobent pas les frais de déplacement du personnel, les frais financiers d'investissement, les frais de renouvellement et l'achat du matériel courant (par exemple réactifs...). Ces coûts s'appliquent au traitement de l'eau et n'intègrent pas le traitement et l'élimination des boues. Pour calculer un prix plus proche d'une réalité concrète, chaque maître d'ouvrage doit rajouter les postes volontairement non évalués en tenant compte des situations locales.

L'exploitation d'une station dimensionnée pour traiter 400 EH aurait coûté, en 1996, entre 3,81 Euros/habitant en cas d'un épandage superficiel et 10,67 Euros/habitant pour une infiltration-percolation sur sable.



▼ Tableau 2 – Coûts d'exploitation (tarif 1996) exprimés en euros par habitant et par an.

|                                   | Infiltration percolation | Filtres enterrés   | Épandage souterrain | Épandage superficiel | Filtres plantés de roseaux |
|-----------------------------------|--------------------------|--------------------|---------------------|----------------------|----------------------------|
| Coût pour une station de 100 EH   | <b>42,68</b>             | <b>27,44</b>       | <b>17,53 (1)</b>    | <b>11,11 (1)</b>     | <b>26,67</b>               |
| Coût pour une station de 400 EH   | <b>10,67</b>             | <b>7,62</b>        | <b>4,38 (1)</b>     | <b>3,81 (1)</b>      | <b>9,14</b>                |
| Coût pour une station de 1 000 EH | <b>6,09</b>              | <b>Non utilisé</b> | <b>Non utilisé</b>  | <b>Non utilisé</b>   | <b>5,33</b>                |

(1) L'effluent étant évacué simultanément au traitement, les frais d'auto-contrôle ne peuvent pas être pris en compte.

## Conclusion

Les filières d'épuration par cultures fixées sur supports fins sont définies par un très faible taux de charge appliquée (inférieure à 40 g DBO<sub>5</sub>.m<sup>2</sup>.j<sup>-1</sup>) et une disposition fractionnée en plusieurs (2 ou 3) unités alimentées en alternance.

Ces deux exigences permettent d'assurer une régulation du développement de la biomasse active et d'éviter le colmatage en masse. Les 5 filières se différencient entre elles par la nature du matériau support de la biomasse (matériau rapporté ou sol en place) et la possibilité de visualiser la plage d'alimentation en eaux usées. Les filières dont la plage d'infiltration est :

- soit régulièrement grattée (IP) ;
- soit percée par les tiges de roseaux (FPR) ;

acceptent les charges surfaciques plus importantes. L'emprise au sol est alors réduite.

Ces techniques délivrent un effluent de qualité (DCO < 125 mg.l<sup>-1</sup>). L'azote est presque complètement nitrifié ; le suivi des teneurs en nitrates est un bon indicateur de l'oxygénation du massif.

Un tel niveau de qualité ne peut être atteint qu'à l'aide d'un entretien régulier (une ou deux fois par semaine) dont le coût n'excède pas une dizaine d'Euros par habitant et par an (pour une station de 400 EH). Ce coût d'exploitation est donc très supportable par des petites collectivités.

Dans les années 1980, le lagunage naturel a été la technique privilégiée par de nombreuses collectivités rurales françaises. Désormais, dans une gamme de population allant de 50 à 2 000 EH, les cultures fixées sur supports fins viennent compléter le panel de techniques adaptées à l'assainissement collectif, même si certaines étaient à l'origine uniquement utilisées en assainissement non collectif. Malgré une connaissance encore imparfaite des mécanismes complexes qui se déroulent dans ces milieux non saturés et une maîtrise limitée des conditions de réalisation sur les chantiers, elles présentent des atouts objectifs (qualité du rejet, entretien aisé...) qui attirent, d'ores et déjà, nombre de petites collectivités.



### Résumé

Les collectivités de taille inférieure à 2 000 habitants sont très nombreuses en France. La mise au point de filières d'épuration répondant aux besoins de simplicité de mise en œuvre et d'exploitation, exprimés par ces communes rurales, permet d'accroître l'éventail des filières largement répandues, telles que le lagunage et les boues activées. Le but de cet article est de présenter cinq techniques d'épuration répondant à la terminologie «cultures fixées sur supports fins». La fiabilité d'un niveau élevé de qualité est obtenue grâce à des apports de très faibles charges organiques et un fonctionnement alterné des réacteurs conduisant à une autorégulation de la biomasse fixée (de telles stations d'épuration ne disposent pas du clarificateur). La qualité de l'effluent atteint le niveau D4 (circulaire du 17 février 1997). La nitrification est poussée (NK-N inférieur à 10mg. l<sup>-1</sup>). La teneur en nitrates, variable selon les cycles d'alimentation, peut être importante. L'entretien régulier qui conduit à un coût de fonctionnement raisonnable constitue le gage essentiel de la fiabilité du système.

### Abstract

France counts a large number of communities with less than 2 000 inhabitants. The adjustment of wastewater treatment plants, easy to implement and to use, needed by these rural communities, enlarges the number of processes already widely used, such as waste stabilization ponds and activated sludge. The purpose of this article is to describe five wastewater treatment systems called «attached-growth cultures on fine media». A high and reliable quality level is obtained by supplying very small organic loads and an alternate feeding of the reactors leading to a self-regulation of the fixed biomass (these treatment plants don't have any secondary settlement tank). The effluent's quality reaches 125 mg.L<sup>-1</sup> in COD and 25 mg.L<sup>-1</sup> in BOD<sub>5</sub>. A high nitrification is obtained (NK-N < 10 mg.L<sup>-1</sup>). Nitrate contents are variable depending on feeding cycles. A reliable functioning is obtained thanks to a regular operation with a reasonable cost.

### Bibliographie

- ALEXANDRE, O., 2000. Méthode d'évaluation des coûts d'investissement et de fonctionnement des petites stations d'épuration. *Ingénieries – EAT*, n° spécial « Assainissement-Traitement des eaux », p. 5-12.
- BOUTIN, C., DUCHÉNE, Ph., LIÉNARD, A., 1998, *Filières d'épuration adaptées aux petites collectivités*, Documentation technique FNDAE n° 22, Ed. Cemagref, Antony, France, 87 p. + annexes.
- 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), p. 315-322.
- Cemagref, SATESE., ENSP, Agences de l'Eau, 1997, *Le lagunage naturel Les Leçons tirées de 15 ans de pratique en France*, Coéd, Cemagref Éditions, Agence de l'Eau Loire-Bretagne. 46 p. + annexes.
- CRITES, R.-W., TCHOBANOGLOUS, G., 1998, *Small and Decentralized Wastewater Management Systems*, Series in Water Resources and Environmental Engineering, McGraw- Hill, Boston, USA, 1084 p.
- DUCHÈNE, Ph., LESAVRE, J., FAYOUX, C., LORRE, E., 1997. Assainissement des collectivités rurales : Contraintes techniques et économiques particulières et perspectives. *7<sup>e</sup> Congrès de l'AGHTM*, La Rochelle, France, 27 p.
- EPA (1981), *Process design manuel. Land treatment of municipal wastewater*, EPA document 621.5/1-81-013, 417 p.
- GUILLOTEAU, J.-A., LIÉNARD, A., VACHON, A., LESAVRE, L., 1993. Wastewater treatment by infiltration basins, Case study: Saint-Symphorien de Lay (France). *Wat. Sci. Tech.*, 27(9), p. 97-104.

GRIL, J.-J., 1982, Le traitement des eaux usées par épandage des petites communes rurales et touristiques, in : *Traitement des eaux usées des petites collectivités*, Ed. Cebedoc, Liège, p. 173-192 .

HOMBOURGER, X., LESAVRE, J., 1998, *Guide technique de l'épandage souterrain*, Rapport Agence de l'eau Seine-Normandie, 146 p.

LIÉNARD, A., BOUTIN, C., GUELLAF, H., 2000. Conception, mise en œuvre et exploitation des filtres à sable. *Ingénieries – EAT*, n° spécial « Assainissement-Traitement des eaux », p. 59-66.

RACAULT, Y., VACHON, A., 1990. Sewage treatment for small local authorities: choice of process and recent trends in France. *Wat. Sci. Tech.*, 22(3/4), p. 17-24.

SCHWAGER, A., BOLLER, M., 1997. Transport phenomena in intermittent filters. *Wat. Sci. Tech.*, 35(6), p. 13-20.

Société québécoise d'assainissement des eaux, 1991, *Guide technique sur la conception des installations septiques communautaires (petites agglomérations)*, 390 p.

THIERY, C., HEBERT, V., LESAVRE, J., 1999, *Guide des procédés épuratoires intensifs proposés aux petites collectivités*, Ed. les Agences de l'Eau, France, 182 p.

VAN BUUREN, J.C.L., ABUSARN, A., ZEEMAN CI, LETTINGA, G., 1999. Primary effluent filtration in small-scale installations. *Wat. Sci. Tech.*, 39(5), p. 195-202.

VYMAZAL, J., BRIX, IL., COOPER, P.F., HABERL, R., PERFLER, R., 1998, Removal mechanisms and types of constructed wetlands, In: *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in Europe*. J. Vymazal, H. Brix, P.F. Cooper, M.B. Green, R. Haberl. Ed Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands, p. 17-66.