



HAL
open science

Eléments de comparaison techniques et financiers des filières d'épuration adaptées aux petites collectivités

Catherine Boutin, A. Liénard, Cécile Lagrange, O. Alexandre

► To cite this version:

Catherine Boutin, A. Liénard, Cécile Lagrange, O. Alexandre. Eléments de comparaison techniques et financiers des filières d'épuration adaptées aux petites collectivités. 8èmes rencontres de l'ARPE quelle station d'épuration choisir en 2005, Nice, 9 octobre 1996, 1996, Nice, France. pp.29. hal-02576987

HAL Id: hal-02576987

<https://hal.inrae.fr/hal-02576987>

Submitted on 2 Jun 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

8èmes Rencontres de l'ARPE

« Quelle station d'épuration choisir en 2005 ? » 9 octobre 1996

**Éléments de comparaison techniques et financiers
des filières d'épuration adaptées aux petites collectivités.**

par C. Boutin*, A. Liénard*, C. Lagrange et O. Alexandre****

*** Cemagref, Groupement de Lyon**

Division Qualité des Eaux
3bis, Quai Chauveau, CP 220,
69336 Lyon Cedex 09
Tél. 04 72 20 87 34 - Fax 04 78 47 78 75

**** Cemagref - ENGEES**

Laboratoire « Gestion des Services Publics »,
1 Quai Koch, BP 1039,
67070 Strasbourg Cedex
Tél. 03 88 25 34 50 - Fax. 03 88 24 26 12

Résumé

Le domaine du traitement des eaux usées adapté aux collectivités de petite taille est en pleine évolution. La quantité de procédés nouveaux qui apparaît sur le marché régulièrement en est une preuve tangible. Cet article énonce une liste, la plus complète possible, des critères techniques pouvant influencer le choix vers une filière donnée puis propose une classification par grande famille de procédés d'épuration offerts aux maîtres-d'ouvrages et maîtres-d'oeuvres. Dix filières-types sont ainsi définies^{*1}. Pour chacune d'entre-elles, grâce à une connaissance détaillée de leurs avantages et de leurs limites indiqués dans le texte, il est possible de mieux cerner leur domaine d'application privilégié. Les aspects économiques ne sont pas occultés ; une meilleure connaissance des coûts d'investissement et d'exploitation est en cours de réalisation. Les valeurs chiffrées des données économiques, en cours de validation, sont à utiliser avec une extrême prudence.

Les filières d'épuration destinées plus spécifiquement au petit collectif reposent toutes sur des principes d'épuration connus : cultures bactériennes aérobies libres ou fixées sur des matériaux variés. Elles diffèrent entre elles, par leur degré plus ou moins élevé d'intensification des processus et par leur sophistication.

Aujourd'hui il est possible de dénombrer 10 grandes familles de filières d'épuration pour les petites collectivités.

Dans le domaine des cultures libres existent :

- **les boues activées,**
- **le lagunage naturel,**
- **le lagunage aéré.**

Dans le domaine des cultures fixées, on peut distinguer deux classes :

- celles fixées sur des supports grossiers, les filières étant :
 - * **les lits bactériens,**
 - * **les disques biologiques,**

^{*1} : Cette synthèse est le fruit d'un travail conduit en collaboration, par le Cemagref et le CSTB, à la demande du Ministère de l'Agriculture. En janvier 1997, les résultats sont encore partiels et feront l'objet d'une publication complétée dans le cadre du FNDAE (Fonds National pour le Développement des Adductions d'Eau) dans le courant de l'année

- celles fixées sur des supports fins ; une deuxième distinction peut alors porter sur la nature du matériau support ; on parlera de :

* matériau rapporté :

- ° les lits d'infiltration-percolation (alimentation à l'air libre),
- ° les filtres plantés de roseaux (alimentation à l'air libre, surface d'infiltration plantée) ou
- ° les filtres enterrés (alimentation enterrée).

* sol en place :

- ° l'épandage souterrain (alimentation enterrée) ou
- ° l'épandage superficiel (alimentation à l'air libre)

Malgré l'existence de ces nombreuses filières, il ressort que toutes ne sont pas autant utilisées. De fait, pour la gamme de capacité de 100 à 2000 Equivalents Habitants (EH), la figure n°1 (Pochet, 1994) de la répartition en nombre d'installations par filière fait apparaître une forte prédominance de boues activées (BA) suivie de loin par le lagunage naturel (LA). Le nombre de lits bactériens (LB) reste significatif (16 %), les 7 autres procédés (AU), dont les disques biologiques (DB) ne se partagent que 9 % du parc.

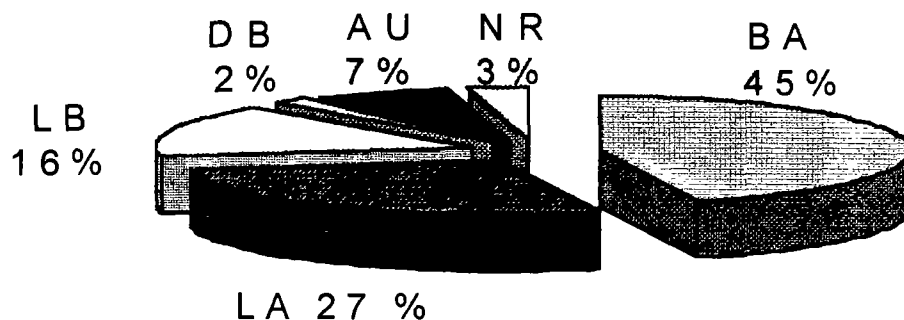


Figure 1 : Parc des stations d'épuration de 100 à 2 000 EH (données Agences de l'Eau).

La prise en compte des stations construites tout au long des 25 dernières années, une connaissance incomplète des domaines privilégiés d'application de chaque filière ainsi que l'absence d'éléments concernant leurs coûts d'investissement et d'exploitation peuvent expliquer, au moins pour partie, cette situation. Le but de cet article, est de lever, autant que faire se peut, des doutes sur les deux derniers points.

Dans un premier temps, seront énoncés les principaux critères de choix d'ordre technique pouvant aider à une prise de décision la plus objective possible. Puis après une description sommaire de chaque filière-type, le domaine d'application privilégié sera délimité, en faisant apparaître avantages, limites et quelques évaluations des coûts d'investissement et d'exploitation.



Les critères de choix des filières d'épuration sont de divers ordres. Listés sans hiérarchie systématique, les éléments principaux sont :

- A) la fragilité du milieu récepteur,
- B) la nature de la pollution à traiter,
- C) les contraintes géoclimatiques,
- D) les nuisances sensibles,
- E) les modes d'exploitation retenus par la commune,
- F) sans omettre les coûts d'investissement et d'exploitation.

A) la fragilité du milieu récepteur,

La nature du milieu récepteur permet de fixer les seuils de qualité à atteindre avant déversement du rejet dans un milieu superficiel ou souterrain. Ils portent essentiellement sur 4 fractions :

- la matière organique,
- l'azote et plus précisément son degré de nitrification souhaité, caractérisé par l'azote Kjeldahl résiduel (NK) ou son élimination caractérisée par la teneur en azote global (NGL),
- le phosphore
- la contamination fécale.

Si un rejet dans un milieu superficiel n'est pas possible, déconseillé, ou économiquement trop contraignant, des études géotechniques permettront de définir la qualité du rejet en milieu souterrain.

B) la nature de la pollution à traiter,

Cet article s'adresse uniquement aux pollutions domestiques émises par des collectivités. Pourtant, même en se limitant uniquement à ce type de pollution, il existe diverses situations :

- la taille de la collectivité influence le choix de la technologie,
- les petites collectivités sont parfois soumises à des variations de populations saisonnières induites le plus souvent par du tourisme. Le choix de la filière sera influencé par ces pointes et la période à laquelle elles ont lieu (été ou hiver). Le dimensionnement tiendra bien évidemment compte de ces apports temporaires.
- la nature des eaux usées c'est à dire leur degré de dilution ou de concentration est fonction du type de réseau les acheminant. Par exemple, un effluent très concentré ne sera pas traité par un lagunage naturel, les risques de dysfonctionnement étant plus élevés dans cette situation.

C) les contraintes géoclimatiques,

Une bonne part des filières adaptées aux petites collectivités reposent sur des mécanismes d'épuration qui ne sont pas intensifs. De ce fait, l'emprise au sol du site à retenir peut atteindre dans certains cas des valeurs importantes de l'ordre de 15 à 20 m²/EH. La place disponible est alors un facteur essentiel.

La connaissance de la qualité du sol naturel sera nécessaire dans le choix de la plupart des filières afin de déterminer le degré d'étanchéité naturelle et les protocoles d'étanchéification les plus adaptés et les moins coûteux. Elle sera déterminante dans le choix d'une filière d'épandages qui utilise les capacités épuratrices du sol en place.

En zones de climat rigoureux, on peut être contraint de privilégier des technologies facilement couvertes afin de réduire les baisses de températures limitant le développement bactérien et les risques de gel provoquant le blocage d'appareils électromécaniques.

D) les nuisances sensibles,

Les nuisances sensibles ou environnementales tels que les odeurs, le bruit ou les aspects esthétiques ont aussi leur importance. Elles deviendront un critère majeur dans le cas où le lieu d'implantation retenu est relativement proche des habitations. A l'inverse, si le site n'est pas visible aisément, ces aspects pourront perdre de leur pertinence.

E) les modes d'exploitation retenus par la commune,

Le mode de gestion souhaité fera partie des critères de choix initiaux. Effectivement, si l'exploitation est réalisée par un personnel communal, n'ayant pas de formation spécifique dans le domaine de l'épuration, il conviendra de mettre à sa disposition un procédé dont la gestion est simple. Par exemple, la filière ne comportera pas d'appareils électromécaniques et fonctionnera donc sans énergie électrique. Les interventions seront surtout de type « jardinage » selon un rythme très régulier, sans nécessiter d'interprétation de données nécessaire à l'adaptation des réglages.

F) les coûts d'investissement et d'exploitation.

Les coûts d'investissement et d'exploitation intéressent forcément les maîtres d'ouvrage et les services susceptibles d'apporter une aide financière. Pourtant, dans ce domaine la bibliographie n'est pas très riche. Une approche financière a été lancée par le laboratoire « Gestion des Service Publics » (GSP) (Lagrange et coll., à paraître).

La présentation sommaire ci-après de la démarche retenue a pour but essentiel de montrer **les limites des valeurs chiffrées** qui seront mentionnées par la suite.

↳ Estimation du coût d'investissement des petites stations d'épuration

Les filières de traitement ont été décomposées en unités fonctionnelles. Puis pour chaque procédé *une filière de traitement standard*, c'est à dire l'ensemble des unités fonctionnelles strictement nécessaires à une bonne réalisation du processus d'épuration, a été définie.

Ce travail a été mené pour les capacités de 100, 400 et 1000 équivalents habitants, qui représentent bien les différentes situations rencontrées soit :

- les stations de 100 EH sont des installations caractéristiques du très petit collectif,
- à 400 EH, tous les procédés de la gamme 50 - 3000 EH sont envisageables.
- à 1000 EH, on trouve des installations proches de celles utilisées en moyennes et grandes collectivités.

Parallèlement à ce travail, *des dossiers de marché* de stations d'épuration ont été collectés auprès des maîtres d'oeuvre. Les stations retenues comme support de l'évaluation des coûts sont des stations récentes (mises en service après 1990). De même, on s'est fixé un seuil de capacité maximum de 3 000 EH, pour bien représenter la gamme des petites capacités.

La collecte des données a été effectuée de manière régionale, du fait de l'implantation plus ou moins forte de certains procédés selon les secteurs. Cela permet également de s'affranchir, dans un premier temps, des disparités inter-régionales en termes de coût pour un même procédé.

Ainsi :

- les dossiers de boues activées et lagunage naturel ont été collectés sur le bassin hydrographique Rhin-Meuse,
- l'échantillon des lits bactériens et des disques biologiques a été collecté dans le Sud-Est de la France, où ces deux procédés sont bien représentés.
- pour les autres procédés (lits d'infiltration, filtres plantés de roseaux et filtres enterrés) pour lesquels on compte encore peu de réalisations, les recherches ont été menées à l'échelle nationale.

Le laboratoire GSP s'est fixé comme objectif de rassembler *un minimum d'environ 10 dossiers* par filière étudiée. En effet, face à la diversité et au nombre de procédés, d'une part, et à la faiblesse de certains échantillons, d'autre part, une étude statistique fiable est impossible. La question de l'hétérogénéité des coûts d'une région à l'autre reste entière. Nous ne prétendons donc pas fournir de références absolues. **Le domaine de validité de la plupart des coûts d'investissement se limite ainsi à une région.** Les chiffres affichés doivent être manipulés avec prudence, en les adaptant aux caractéristiques locales.

99 dossiers ont ainsi pu être étudiés, représentant 7 procédés différents.

A partir des dossiers de marché, des coûts moyens par poste ont été estimés (le plus souvent par des ajustements linéaires), sur la base de l'unité d'oeuvre qui nous a paru la plus significative (volume, surface, capacité,...).

Le coût d'investissement recalculé pour chaque procédé comprend, en plus de la construction proprement dite, les postes transversaux suivants :

- ① Le poste de relèvement (s'il y a lieu),
- ② Les prétraitements,
- ③ Un débitmètre dans un canal de mesure à l'air libre est prévu en entrée et en sortie de station,
- ④ Le coût du local d'exploitation qui s'apparente seulement à un « abri de jardin » pour les procédés extensifs,
- ⑤ Le coût de l'équipement électrique, si nécessaire, comprend l'armoire de commande, les câblages, les éventuels dispositifs de télésurveillance et synoptiques...
- ⑥ Les canalisations, regards et by-pass représentent un poste très dépendant de la surface, de la configuration du terrain et de la localisation de l'exutoire. Son coût est estimé en fonction de la capacité de l'installation,
- ⑦ Le coût des études préalables adaptées à chaque procédé,
- ⑧ La viabilisation du site comprend l'installation du chantier, la préparation du terrain (débroussaillage,...), la voirie et la clôture du site mais exclut l'acquisition initiale du terrain. Son coût très dépendant de l'état initial du site, a été estimé en fonction du procédé et de sa taille.

↳ Estimation du coût d'exploitation des petites stations d'épuration

Le coût d'exploitation **ne** comprend **pas** l'estimation du **coût de la gestion et de l'évacuation des boues** vers une destination respectueuse de l'environnement et conforme aux procédures réglementaires (plans d'épandage, interdiction de mise en décharge...). L'estimation économique de ce poste est aujourd'hui mal connue, notamment pour les petites collectivités.

La définition de l'exploitation des stations d'épuration s'arrête pour l'instant à l'extraction des boues de la filière « eau » et à leur stockage pour 6 mois dans un silo (boues activées) ou un décanteur-digesteur (lits bactériens, disques biologiques et lits d'infiltration-percolation).

On ne tient pas compte non plus des frais financiers d'investissement (remboursements d'emprunts), des frais de renouvellement (amortissements et provisions), des frais de déplacements et de mise à disposition du personnel d'exploitation.

La démarche retenue comprend néanmoins deux étapes :

- La définition d'une *prestation d'exploitation* (supposée optimale) pour chaque procédé avec l'identification des différents types d'interventions nécessaires à un bon fonctionnement, leur fréquence, la qualification du personnel requise et la durée d'intervention,
- L'évaluation des *dépenses énergétiques* pour les procédés concernés. On y trouve la consommation, par exemple l'énergie consommée par les systèmes d'aération pour les boues activées, les pompes,

→ *Prestation d'exploitation*

Le bilan des interventions requises pour chaque filière, afin d'assurer leur bon fonctionnement, a été résumé dans un cadre détaillé des prestations nécessaires, qui associe à chaque opération d'entretien, une fréquence et une durée d'intervention. La qualification demandée est également précisée. Les taux horaires suivants ont été utilisés :

| Prestation | Charges salariales |
|------------------------|--------------------|
| main d'oeuvre courante | 100 F HT/h |
| électromécanicien | 150 F HT/h |
| hydrocurage | 450 F HT/h |

Tableau 1 : Coût de la prestation d'exploitation - Taux horaires retenus.

A l'issue de ce travail, il est relativement aisé d'estimer un coût d'exploitation annuel. On propose un chiffrage aux capacités de 400 et 1000 EH. On estime que **la prestation définie pour 400 EH est difficilement compressible** et qu'il convient donc de l'adopter sans modification pour les populations de taille inférieure. Dans ce cas, le coût ramené à l'équivalent-habitant est défini par une simple règle de trois à partir de ce coût d'exploitation non compressible.

D'une manière générale, la taille de l'installation ne change pas le type d'intervention à réaliser, puisque l'on retrouve, à peu de choses près, les mêmes ouvrages. Ce sont les fréquences et/ou les durées d'interventions qui varient.

La fréquence de passage (de « routine ») retenue est de trois fois par semaine pour 1000 EH et deux visites par semaine à 400 EH. Bien que certaines filières requièrent en théorie une surveillance journalière (boues activées), on a retenu ces fréquences qui nous semblent être un compromis technico-économique raisonnable pour réaliser les opérations de surveillance générale et les visites de « routine ».

Pour l'entretien courant (entretien des équipements, gestion des sous produits de l'épuration, entretien des abords), la fréquence de visite est hebdomadaire à mensuelle. Certaines filières requièrent quelques interventions ponctuelles souvent lourdes (curage de boues, vidange de bassin). Leur fréquence est de l'ordre de l'année.

Concernant la définition des prestations générales, on peut noter que l'autosurveillance doit être réalisée de façon régulière, à l'attention du maître d'ouvrage mais aussi des organismes publics (Agences de l'Eau). Même les petites stations doivent s'y soumettre en application de l'article 35 de la « Loi sur l'eau » (1992) qui prévoit la réalisation et la transmission de mesures sur le site par l'exploitant.

L'estimation du coût de l'autosurveillance reprend les valeurs fixées par le groupe de travail de l'AGHTM « autosurveillance des usines d'épuration », en l'appliquant une fois par an pour la capacité de 1000 EH et une fois tous les deux ans pour 400 EH (AGHTM, 1994).

→ *Dépenses énergétiques*

Les filières sont décomposées en postes de consommation d'énergie. On estime ensuite les dépenses énergétiques identifiées pour aboutir au montant de la dépense énergétique totale de chaque filière à 400 et 1000 EH.

La consommation liée au traitement est ici seule prise en compte. A cette consommation, peuvent s'ajouter celle due au chauffage du local d'exploitation, et éventuellement celle d'un chauffe-eau. Ces deux postes peuvent générer une consommation non négligeable aux capacités étudiées.

Pour les trois filières (lit bactérien, disques biologiques, boues activées, souvent placées hors sol), le fonctionnement d'un poste de relevage a été intégré dans les coûts d'exploitation.

| | Boues activées | | Disques biologiques | | Lit bactérien | | Lagunage naturel | | Lits d'infiltration | | Filtres enterrés | | Filtres plantés de roseaux | |
|---------------------|----------------|-------------|---------------------|-------------|---------------|------------|------------------|-----------|---------------------|-----------|------------------|-----|----------------------------|-----------|
| main d'oeuvre | <i>105</i> | 61 | <i>78</i> | 43 | <i>88</i> | 48 | <i>43</i> | 21 | <i>90</i> | 42 | <i>62</i> | --- | <i>75</i> | 41 |
| énergie | <i>17.7</i> | 18.3 | <i>11.4</i> | 11.3 | <i>0.7</i> | 1.4 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| coût d'exploitation | <i>123</i> | 79 | <i>89</i> | 54 | <i>89</i> | 50 | <i>43</i> | 21 | <i>90</i> | 42 | <i>62</i> | --- | <i>75</i> | 41 |

chiffre en italique : valeur pour 400 EH et chiffre en gras : valeur pour 1000 EH

Tableau 2 : Coût d'exploitation annuel (en F HT / EH).

Le tableau n°2 ci-dessus résume la répartition en main d'oeuvre et en énergie des coûts d'exploitation par filière.

Pour les boues activées et les disques biologiques, le coût énergétique représente entre 20 et 25 % du coût total d'exploitation pour 1 000 EH et chute à environ 15 % pour 400 EH. Pour le lit bactérien, cette part est effectivement réduite au minimum. Globalement, l'exploitation d'une boue activée, procédé le plus complexe, est naturellement la plus chère, celle du lagunage naturel est la moins onéreuse.

Les disques biologiques, les lits bactériens, les lits d'infiltration-percolation et les filtres plantés de roseaux ont des coûts d'exploitation assez similaires.



Les filières d'épuration adaptées aux petites collectivités rejetant majoritairement des eaux usées domestiques sont toutes des filières biologiques aérobies. Les principaux acteurs de la dépollution des eaux sont toujours des bactéries qui selon les techniques sont : soient libres (maintenues en suspension dans l'eau à traiter), soient fixées sur un matériau de granulométrie fine (par exemple le sol ou le sable) à grossière (pouzzolane des lits bactériens). Les 10 filières types seront décrites dans un schéma de principe sommaire dont la légende générale est décrite dans la figure n°2 ci-dessous.

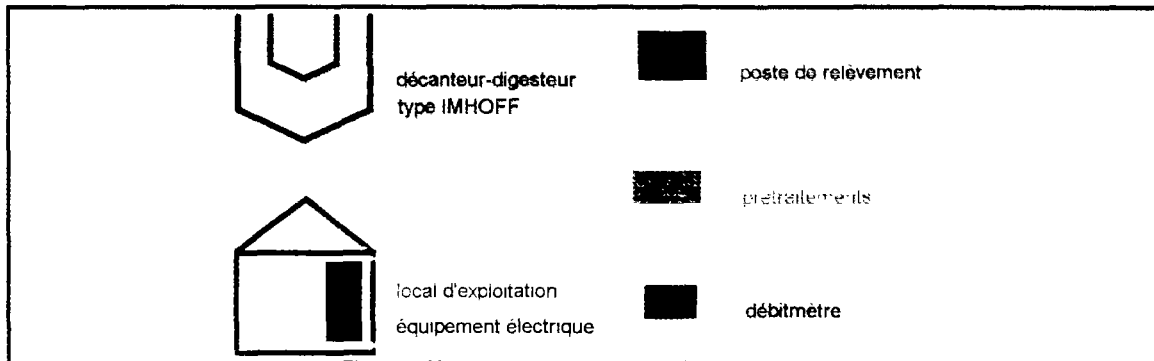


Figure 2 : Légendes générales.

Les filières répondant à la terminologie « cultures libres » sont relativement bien connues. On dénombre 3 techniques :

⊕ la boue activée en aération prolongée

L'oxygène indispensable au métabolisme bactérien est fourni par des aérateurs de surface (brosses, turbines,...) ou par insufflation dès que la profondeur du bassin augmente.

La filière-type « boues activées en aération prolongée » est représentée schématiquement par la figure n°3.

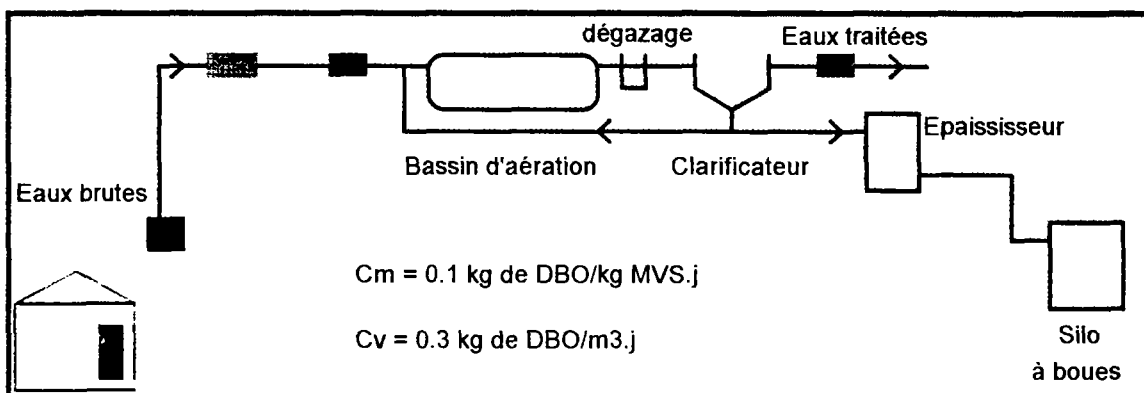


Figure 3 : Boues activées en aération prolongée.

Afin de maintenir la masse bactérienne à une concentration suffisante, une partie des boues décantées est recirculée vers le bassin d'aération.

En aération prolongée, le bassin d'aération est dimensionné à partir de la charge massique, soit 0,10 kg de DBO₅ / kg de MVS par jour ; ce qui correspond à une charge volumique de 0,3 kg de DBO₅/m³ par jour.

Ce procédé permet potentiellement d'obtenir un effluent de très bonne qualité, notamment en azote. Une élimination de l'azote par une dénitrification poussée peut-être obtenue par un réglage approprié qu'il convient toutefois d'adapter aux conditions de fonctionnement (charges organiques et hydrauliques traitées). Ceci requiert un suivi par un personnel bénéficiant d'une formation spécialisée. L'obtention d'un rejet de la qualité escomptée nécessite une présence soutenue du personnel d'exploitation. Cette exploitation contraignante ainsi que les problèmes techniques rencontrés lors de la miniaturisation des boues activées conduisent à éviter l'usage de cette filière pour des populations inférieures à 500 EH (Genthial, 1995).

Les coûts d'investissement et d'exploitation, établis à partir de données financières recueillies dans les bassin Rhin-Meuse permettent de comparer les deux tailles de population 400 et 100 EH à partir du tableau 3 ci-après :

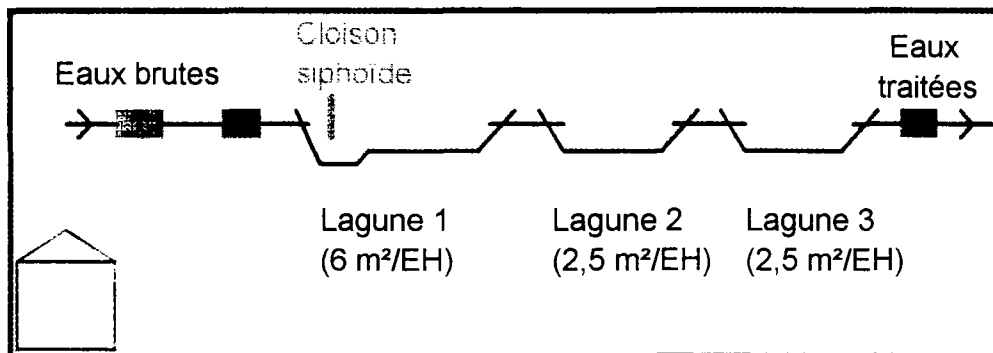
| | | 400 EH | 1000 EH |
|----------------|------------|--------|---------|
| investissement | F HT/EH | 2920 | 1470 |
| exploitation | F HT/EH.an | 120 | 65 |

Tableau 3 : Ordre de grandeur des coûts de la filière : boues activées.

Ces données n'intègrent pas les coûts d'investissement et d'exploitation de l'épaississeur.

⊕ le lagunage naturel

Les bases de dimensionnement du procédé, choisi par de nombreuses petites collectivités, sont connues d'un grand nombre de concepteurs potentiels. En 1995 - 1996, un groupe de travail réuni pour établir le bilan de 15 années d'expérience du lagunage (SATESE-Cemagref et coll., 1997) a conduit à préconiser un dimensionnement légèrement différent de celui jusqu'alors retenu (Cf Fig.4).



Variantes :

- Lagunage à macrophytes
- Adjonction de lits d'infiltration-percolation en traitement complémentaire

Figure 4 : Le lagunage naturel.

La surface du 1^{er} bassin a été légèrement agrandie (dans le but de se prémunir des éventuels problèmes de dysfonctionnement), elle atteint au moins 6 m²/EH ;

L'usage de végétaux enracinés dans les 2 ou 3 bassins suivants n'est plus conseillé. En effet, le gain de qualité apporté par les lagunes à macrophytes (Cf. variantes Fig.4) n'a jamais pu être réellement quantifié. Par contre, le surcroît d'exploitation qu'induit le faucardage des végétaux à l'automne et leur exportation hors de l'eau est réel.

La hauteur d'eau libre est toujours à fixée à 1 m.

Le lagunage naturel présente de façon indéniable des avantages qui expliquent sa déjà grande diffusion : c'est un procédé qui fonctionne sans énergie, donc d'exploitation simple. Il offre un effluent d'une qualité très correcte en ce qui concerne le paramètre phosphore (l'abattement moyen atteint environ 60 %). L'élimination de l'azote global est importante (le taux moyen est de 70 %), notamment en été. Le taux important d'élimination des germes témoins de contamination fécale explique l'usage de la filière dans les zones où les contraintes sanitaires sont fortes. C'est de plus une filière qui, dimensionnée pour les charges mensuelles de pointe, permet de s'adapter aux variations de population estivale.

Il ne faudrait pas croire pour autant que cette technique ne présente que des avantages. L'élimination de la matière organique n'est pas aussi complète que dans les autres filières d'épuration du fait essentiellement de la présence des algues dans le rejet et de la présence, dans la fraction dissoute, de divers produits de dégradation liés aux métabolismes spécifiques du lagunage naturel. Leur développement, variable au fil des saisons, a une incidence directe sur l'évolution des concentrations en azote et phosphore (Racault et coll., 1996). L'adjonction d'une filtration complémentaire par un massif sableux devrait améliorer de manière sensible la qualité du rejet sur les paramètres DCO et MES (Cf. variante Fig.4).

Les mécanismes intrinsèques du lagunage sont basés sur un équilibre naturel des diverses populations bactériennes et algales. En cas de déséquilibre biologique, les moyens disponibles, immédiatement, pour remédier au problème rencontré, sont peu nombreux. La mise en place d'un nouvel équilibre peut-être très long. Afin de se prémunir contre d'éventuels dysfonctionnements, il est désormais fortement déconseillé de traiter par lagunage des effluents très concentrés ou septiques.

L'implantation d'un lagunage naturel nécessite une emprise globale au sol importante (au moins de 15 m² par EH digues comprises).

Les coûts d'investissement établis à partir de données financières recueillies sur le bassin Rhin-Meuse s'appliquent à une installation **étanchée naturellement par l'argile en place**. L'ordre de grandeur des coûts comparés pour les 3 situations 100 - 400 - 1000 EH est résumé dans le tableau n°4 ci-dessous.

| | | 100 ² EH | 400 EH | 1000 EH |
|----------------|------------|---------------------|--------|---------|
| investissement | F HT/EH | 5110 | 1520 | 800 |
| exploitation | F HT/EH.an | 180 ³ | 45 | 20 |

Tableau 4 : Ordre de grandeur des coûts de la filière : lagunage naturel.

A 100 EH, le lagunage est cher, ce que l'on peut expliquer par l'incidence du coût relatif des digues, très important pour les stations de petites capacités.

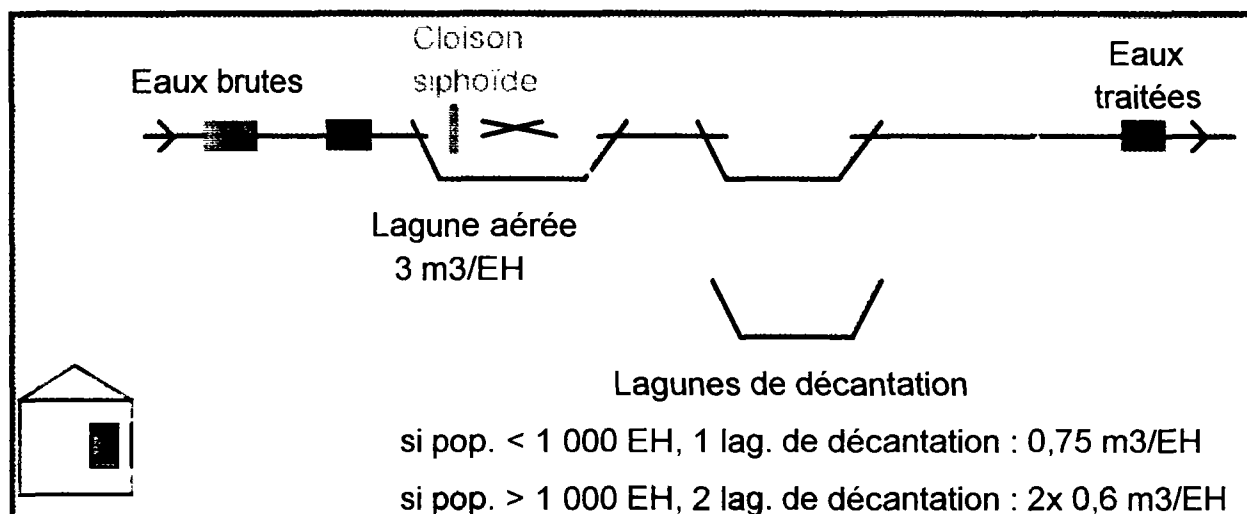
² : Conception pour 100 EH : lagunage à deux bassins (6 m²/EH + 5 m²/EH).

³ : Valeur évaluée à partir de la prestation d'exploitation pour 400 EH, considérée comme incompressible

⊕ le lagunage aéré

Le lagunage aéré constitue une situation intermédiaire entre le lagunage naturel et la boue activée. La majorité de l'oxygène est apporté par des aérateurs de surface. Par contre, les boues ne sont pas recirculées et la gestion de la population bactérienne active se fait naturellement grâce au temps de séjour important dans la lagune aérée (de l'ordre de 20 jours). A partir d'une population de taille supérieure à 1 000 EH, deux lagunes de décantation sont mises en service en alternance : le bassin en phase de repos pour une durée de 6 mois environ, permet de gérer l'extraction des boues de manière optimisée. Pour des populations inférieures et en vue de limiter les coûts d'investissement, une seule lagune de décantation est préconisée.

La filière-type « lagunage aéré » est représentée schématiquement par la figure n°5.



Variante :

- Lagunage aéré + lagune de décantation recouverte de lentilles d'eau.

Figure 5 : Le lagunage aéré.

Une société démarche actuellement des collectivités françaises pour proposer une variante du lagunage aéré. Son originalité consiste à contrôler le développement de lentilles d'eaux, maintenues à la surface d'une seule lagune de décantation dans des casiers flottants et amovibles. L'exportation des lentilles doit être réalisée régulièrement grâce à un radeau flottant équipé d'une pompe. Il n'existe pas encore d'installation en France. Aujourd'hui, nous ne possédons donc pas de données techniques précises permettant d'émettre un avis argumenté sur ce procédé.

Le lagunage aéré est une filière ancienne qui présente les avantages suivants :

- acceptant des effluents concentrés, elle s'est de fait développée essentiellement dans des petites communes ayant le souci de traiter conjointement des eaux usées domestiques et des rejets d'industries agro-alimentaires de petite taille (atelier de découpe de viande, fruitières, ...).
- la filière accepte bien des variations de charges hydrauliques puisque le temps de séjour dans le bassin de lagunage aéré est important (de l'ordre de 20 jours).

Par contre, l'installation d'aérateurs de surface induit la présence d'un exploitant ayant un minimum de connaissances en électromécanique afin d'en assurer l'entretien correctement. Par ailleurs les floccs bactériens produits dans la lagune aérée sont de petite taille et donc difficilement décantables. La qualité du rejet s'en trouve amoindrie, elle reste moyenne sur l'ensemble des paramètres. En particulier, on ne doit pas en s'attendre à une nitrification significative.

Généralement l'usage du lagunage aéré est réservé à des populations de taille supérieure à 200 EH. Cette limite est fixée par la disponibilité sur le marché de turbines rapides de faible puissance.

Pour cette filière, les coûts d'investissement et d'exploitation n'ont pas encore été calculés.



Dans le domaine des cultures fixées, la classification des procédés entre eux porte dans un premier temps sur la taille du matériau support. On distingue donc les cultures fixées sur supports grossiers et celles sur supports fins. Sous la dénomination, **cultures fixées sur supports grossiers**, on retrouve deux techniques connues : les lits bactériens et les disques biologiques (Liénard et coll., 1997).

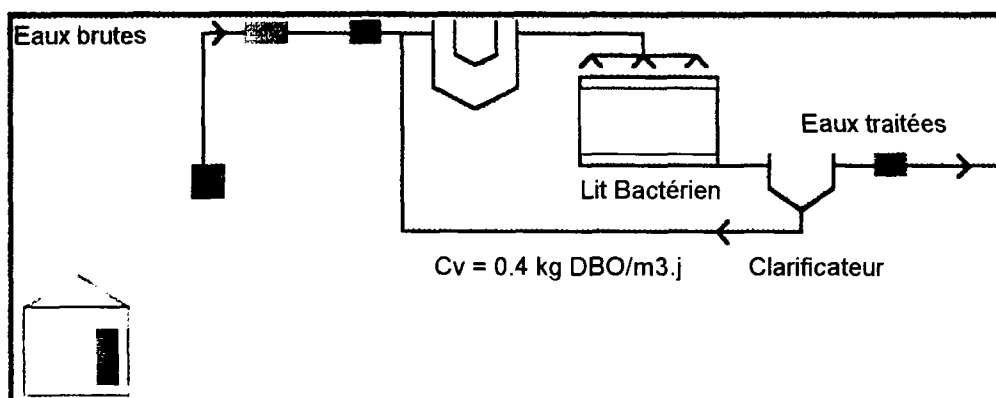
⊕ les lits bactériens

L'oxygène indispensable au métabolisme des bactéries et de leurs prédateurs constituant le biofilm fixé est apporté par ventilation naturelle dans les interstices du support, à partir d'ouïes positionnées à la base du lit bactérien.

La filière-type, proposée ici, comporte :

- un décanteur-digesteur,
- un lit bactérien garni de pouzzolane, dont le dimensionnement tient compte de l'abattement obtenu par le décanteur-digesteur ; la charge appliquée qualifiée de « moyenne » est de $0,4 \text{ kg de DBO}_5/\text{m}^3$ de matériau par jour ;
- un décanteur secondaire (ou clarificateur) installé de façon systématique.

Le schéma de principe de la filière-type est représenté ci-après.



Variantes :

- Adjonction de lits d'infiltration-percolation ou filtres enterrés en traitement complémentaire
- Filière préfabriquée monobloc : fosse toutes eaux + lit bactérien et clarificateur superposés.

Figure 6 : Les lits bactériens.

Il est possible d'adjoindre à cette filière-type un lit d'infiltration-percolation sur sable ou un filtre enterré (Cf. variantes Fig.6), en cas de contraintes fortes sur la qualité du rejet ou, par exemple, en vue de la réhabilitation d'un ouvrage existant.

Les « lits bactériens faible charge sans recirculation », souvent considérés comme obsolètes en raison de la difficulté à répartir correctement l'effluent et contrôler le développement du biofilm, sont réservés à de très petites collectivités (d'une centaine d'habitants) en adjoignant un traitement par infiltration-percolation sur sable en remplacement du clarificateur.

A ce jour, deux sociétés françaises proposent des filières de type « préfabriqué monobloc » dont les mécanismes d'épuration s'apparentent à ceux des lits bactériens moyenne charge à recirculation. Le traitement primaire est assuré par une fosse toute eaux. Le lit bactérien (dont le garnissage est réalisé avec un matériau plastique en vrac) et le clarificateur sont directement superposés (Cf. Variantes Fig.6).

Un des procédés, créé par une société finlandaise, n'a pas encore prouvé, malgré la centaine d'installations construites en France, sa capacité à produire un effluent de qualité satisfaisante (Liénard et coll., 1997).

Le second, originaire d'Angleterre et de création plus récente, semble présenter quelques améliorations par rapport au précédent. Il n'a, toutefois, pu faire l'objet d'investigations suffisantes en France.

Comme une « boue activée », une station par lit bactérien a une emprise au sol réduite comparée à celles des procédés dits « extensifs ». Son exploitation est peu contraignante. Pourtant la présence d'appareillages électromécaniques, même réduits au minimum dans la plupart des cas (pompes de relèvement, de recirculation et d'extraction des boues), nécessite que l'entretien soit réalisé par un personnel bénéficiant de compétences en électromécanique.

Les bases de dimensionnement de la filière-type présentée ci-dessus ne permettent pas d'obtenir une nitrification très poussée lorsque la station fonctionne à sa charge nominale (elle peut néanmoins être atteinte à charge volumique organique plus faible, par exemple si la station est sous chargée).

Les coûts d'investissement établis à partir de données recueillis dans le Sud-Est de la France sont résumés dans le n°5 :

| | | 100 EH | 400 EH | 1000 EH |
|----------------|------------|-------------------|--------|---------|
| investissement | F HT/EH | 3450 | 1660 | 1280 |
| exploitation | F HT/EH.an | 360 ^{*3} | 90 | 50 |

Tableau 5 : Ordre de grandeur des coûts de la filière : lit bactérien.

^{*3} : Valeur évaluée à partir de la prestation d'exploitation pour 400 EH, considérée comme incompressible

⊕ les disques biologiques

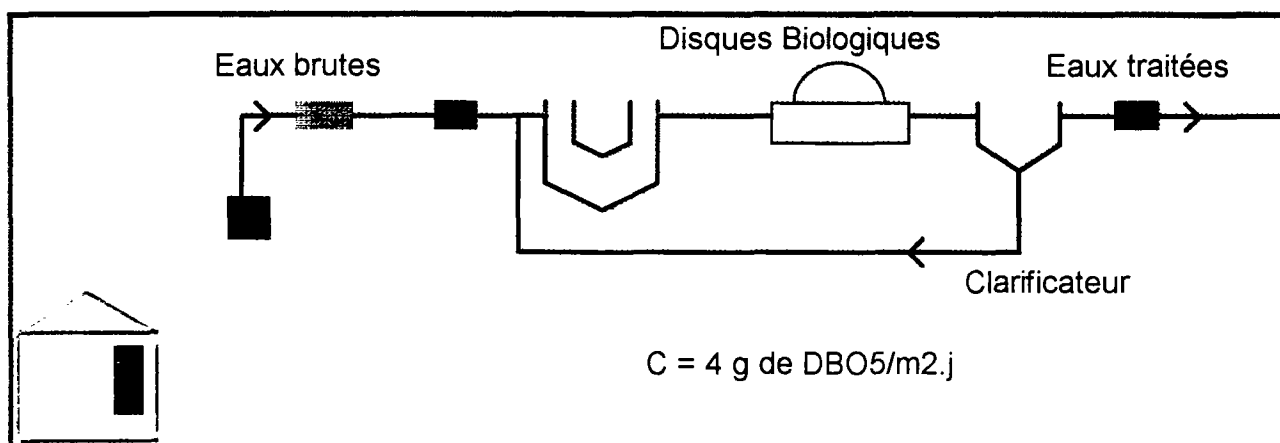
Le matériau servant de support au biofilm se présente sous forme de plaques (souvent réalisées en polypropylène gaufré). Elles sont assemblées sur un axe tournant dans une auge où coexiste également une « culture libre » maintenue en suspension par la rotation qui assure successivement la mise en contact de la biomasse avec l'eau usée et son aération.

Les eaux subissent préalablement une décantation primaire dans un décanteur-digesteur avant d'être introduites dans l'étage des disques biologiques.

La charge appliquée retenue provient essentiellement d'expériences étrangères. Elle est fixée à 4 g de DBO₅/m².j. Un clarificateur sépare ensuite l'eau traitée des boues secondaires.

La figure n°7 reprend le schéma de principe sommaire. Il est possible de remplacer les décanteurs (primaire et secondaire) par des lagunes facultatives et des lagunes de décantation (Cf. variantes Fig.7). Dans certains départements des Alpes, le décanteur primaire est supprimé (Cf. variantes Fig.7), il est remplacé par un prétraitement par tamisage qui pourrait être suffisant pour éviter une accumulation de dépôts dans l'auge. Par contre, l'exploitation supplémentaire, liée à l'entretien du tamis et à la gestion d'une quantité importante de refus non stabilisés, peut limiter l'intérêt de cette proposition. Compte tenu de l'expérience récente en ce domaine, un bilan doit cependant être fait préalablement à une recommandation généralisable.

Tout comme pour les lits bactériens, l'adjonction d'un lit d'infiltration-percolation ou d'un filtre enterré peut encore améliorer sensiblement la qualité du rejet.



Variantes :

- Lagune de décantation + disques biologiques + lagune
- Absence de traitement primaire mais prétraitements poussés
- Adjonction de lits d'infiltration-percolation ou filtres enterrés en traitement complémentaire

Figure 7 : Les disques biologiques.

La technique d'épuration par disques biologiques présente des intérêts indéniables. La qualité du rejet, au regard des paramètres caractéristiques de la matière organique est généralement très correcte du fait de la bonne décantabilité des boues secondaires. Sur la base du dimensionnement préconisé, la filière-type permet une élimination de l'azote par nitrification. La batterie de disques qui est systématiquement couverte rend la filière très adaptée aux climats rigoureux d'altitude.

Le dimensionnement étant basé sur la charge polluante hebdomadaire la plus forte, la technique répond bien aux besoins des communes à population variable car le développement du biofilm s'autorégule en fonction de la charge appliquée. Les disques biologiques sont cependant sensibles aux balourds provoqués par un développement déséquilibré de la biomasse bactérienne, en cas d'arrêt prolongé de la rotation du dispositif.

A l'inverse, les disques biologiques souffrent d'une mauvaise réputation qui lui vient des années 1970, à cause de nombreuses défaillances mécaniques et d'un sous dimensionnement chronique. Les constructeurs et assembleurs proposent désormais des mises en oeuvre correctes qui devraient permettre progressivement de lever le doute et de réhabiliter cette technique. Les références récentes en France sont encore peu nombreuses.

La technique requiert évidemment des appareils électromécaniques qui ne peuvent être abordés sans connaissance. La gestion de l'ensemble est toutefois moins contraignante que celle d'une boue activée du fait d'un moindre risque pouvant résulter d'une perte de biomasse, de l'absence de réglages à adapter et de l'extraction automatique des boues.

L'ordre de grandeur des coûts, établis à partir de données provenant du Sud-Est, comme pour les lits bactériens est relatés dans le tableau n°6 :

| | | 400 EH | 1000 EH |
|----------------|------------|--------|---------|
| investissement | F HT/EH | 1540 | 1220 |
| exploitation | F HT/EH.an | 90 | 55 |

Tableau 6 : Ordre de grandeur des coûts de la filière : disques biologiques.

Pour les deux gammes de populations (400 et 1000 EH), l'investissement dans une filière « disques biologiques » est un peu moins élevé que celui d'une filière « lit bactérien » mais reste, à moins de 10 % près, du même ordre de grandeur.

Les coûts d'exploitation sont identiques pour la gamme 400 EH et avantageux pour la filière « lit bactérien » dans la gamme de population supérieure.



Après avoir présenté les filières répondant à la terminologie de "cultures fixées sur supports grossiers", il convient de décrire les filières répondant à la dénomination de "**cultures fixées sur supports fins**".

L'ensemble de ces filières repose sur des principes d'épuration similaires et des procédures de fonctionnement communes en découlent inmanquablement (Liénard et coll., 1996).

L'eau usée ayant déjà subi une décantation (sauf pour les filtres plantés de roseaux) ruisselle sur le massif filtrant. Elle se trouve en contact de la biomasse bactérienne qui y puise l'énergie et les sels minéraux nécessaires à son développement (croissance et reproduction). La faible granulométrie des constituants du massif filtrant ne permet pas une circulation de l'air par ventilation naturelle dans les interstices du milieu granulaire ; le renouvellement de l'oxygène est essentiellement lié à des phénomènes de diffusion entre les molécules de gaz du massif filtrant, non saturé d'eau, et l'atmosphère. L'oxygénation peut aussi être stimulée par des échanges gazeux s'opérant à la faveur de la migration du liquide lorsque la surface d'infiltration n'est plus isolée de l'atmosphère par une lame d'eau.

Dans ces conditions, la succession de **phases d'alimentation** suivie de **phases de repos** contribuant au ressuyage de la plage d'infiltration, au séchage et au craquèlement des dépôts organiques, est fondamentale.

En pratique, compte tenu des difficultés à obtenir de tels processus en hiver, on considère qu'une période de repos égale au double de la période d'alimentation offre une marge de sécurité convenable. Les installations sont donc constituées de 3 massifs dont 1 seul est alimenté et 2 sont au repos

Toutes les filières décrites ci-après sont des procédés extensifs c'est à dire qu'ils traitent de très faibles charges polluantes par unité de surface, par comparaison aux procédés intensifs que sont, par exemple la "boue activée" (même en 'aération prolongée') et les disques biologiques. Les surfaces unitaires mises en jeu par équivalent habitant, varient de 1,5 m²/EH pour l'infiltration-percolation à plusieurs m²/EH pour un épandage.

Par ailleurs, pendant la phase d'alimentation, le développement de la biomasse épuratoire ne doit pas être excessif afin d'éviter un colmatage biologique par engorgement.

A l'opposé pendant la phase de repos, il ne faut pas que la biomasse ait disparu pour maintenir, dès la première réalimentation, des processus épuratoires suffisamment efficaces. Sur la base d'observations empiriques, on peut aujourd'hui recommander de réaliser des installations constituées de 3 massifs en parallèle qui fonctionneraient tour à tour, selon le rythme suivant :

- 3 (ou 4) jours d'alimentation,
- 7 jours de repos.

La charge polluante doit être répartie au mieux sur le massif pour tirer parti au maximum de ses capacités et éviter les zones de surcharge (et à l'inverse les zones de sous alimentation). Afin d'assurer cette équi-répartition, il faut utiliser des **systèmes de distribution**, alimentés de façon syncopée, à **fort débit** (dite alimentation « par bâchées »), à partir d'eau stockée dans un réservoir de dimension adéquate.

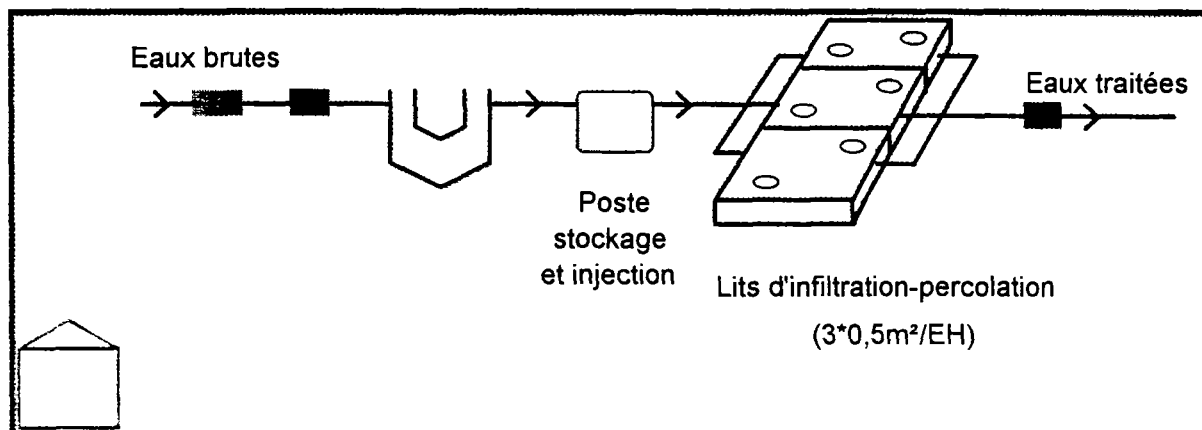
Dans le cas des cultures fixées sur supports fins, on distingue celles fixées sur matériaux rapportés, c'est à dire les lits d'infiltration-percolation sur sable, les filtres plantés de roseaux et les filtres enterrés de celles fixées sur sol en place, c'est à dire l'épandage souterrain et l'épandage superficiel (dont le matériau support est le sol en place, réputé avoir des caractéristiques adéquates, contrôlées au préalable).

Dans le cas **des cultures fixées sur matériaux rapportés**, les supports sont des sables ou des graviers le plus souvent substitués aux matériaux initialement en place.

⊕ L'infiltration-percolation sur sable

La filière-type décrite dans la figure n°8 est composée :

- d'un décanteur-digesteur suivi ;
- d'un réservoir et d'un dispositif de vidange à fort débit ;
- d'un système de répartition par goulottes simples alimentant un massif de sable.



Variantes :

- Répartition par systèmes plus sophistiqués (pivots d'irrigation, ...)
- Lagunage de décantation + lits d'infiltration-percolation
- Lits d'infiltration-percolation non drainés
- Usage des lits d'infiltration-percolation en complément de traitement
- Lits d'infiltration-percolation d'une hauteur de matériau plus importante ($> 2 \text{ m}$) pour élimination de germes pathogènes

Figure 8 : Les lits d'infiltration-percolation sur sable.

La surface du filtre est **à l'air libre**. Le massif est **étanché et drainé**. Les lits d'infiltration-percolation sont constitués de 3 unités indépendantes, dimensionnées chacune sur la base de $0,5 \text{ m}^2/\text{EH}$.

Les massifs sont garnis de sable (souvent appelé « sable de maçon » et assez commun dans la plupart des régions). Les caractéristiques granulométriques les plus adaptées sont les suivantes : $0,2 \text{ mm} < d_{10} < 0,4 \text{ mm}$, C.U. (d_{60} / d_{10}) : ≤ 5 .

La hauteur recommandée est de $0,80 \text{ m}$.

Une couche de galets assure le drainage du massif. Une couche intermédiaire d'environ 10 cm de graviers fins posée sur une géogrille assure la séparation des matériaux (sable et gros graviers).

Le terme « lit d'infiltration-percolation » est aussi utilisé dans d'autres contextes. Les différences principales (Cf. variantes Fig.8) portent :

- sur l'ouvrage de traitement primaire qui peut être une simple lagune de décantation (dimensionnement sur la base de 3 à 4 jours de temps de séjour) ;
- sur le système de distribution qui peut être plus sophistiqué ; l'usage de pivots d'irrigation pour distribuer les eaux usées décantées est d'un développement trop récent pour pouvoir juger de l'intérêt d'un tel dispositif. Est-ce que la perte de rusticité en fonctionnement est compensée par un gain réel de performances ou de réduction de surface nécessaire résultant d'une équi-répartition améliorée ?

- sur le fond du massif qui peut être ni étanché, ni drainé. Lorsqu'un rejet superficiel n'est pas souhaité, le filtre non étanché disperse directement le rejet dans le sous-sol ; l'ouvrage assure à la fois l'épuration et l'évacuation des eaux. Dans ce cas là, il n'est pas alors possible de vérifier de manière rigoureuse la qualité du rejet et sa conformité aux objectifs fixés.

Il existe aussi des « lits d'infiltration-percolation » dont le dimensionnement est différent de celui de la filière-type présentée ci-dessus. Conçus pour éliminer des germes témoins de contamination fécale, les filtres auront une hauteur de sable d'au moins 2 m, voire une granulométrie plus fine afin d'avoir une bonne maîtrise des temps de séjour de l'eau dans le massif filtrant.

Lorsqu'il sera utilisé en complément de traitement à l'aval d'un lit bactérien, d'un disque biologique ou d'un lagunage naturel, la surface utile des filtres sera réduite et le dimensionnement global essentiellement basé sur une charge hydraulique de l'ordre de 60 cm/jour.

Pour ces deux cas, la quantité de matériaux nécessaire est suffisamment différente pour modifier considérablement les coûts d'investissement annoncés ici.

Les coûts, établis à partir de données nationales sont les suivants :

| | | 100 EH | 400 EH | 1000 EH |
|----------------|------------|------------------|--------|---------|
| investissement | F HT/EH | 3600 | 1630 | 1230 |
| exploitation | F HT/EH.an | 340 ³ | 90 | 42 |

Tableau 7 : Ordre de grandeur des coûts de la filière : lits d'infiltration-percolation sur sable.

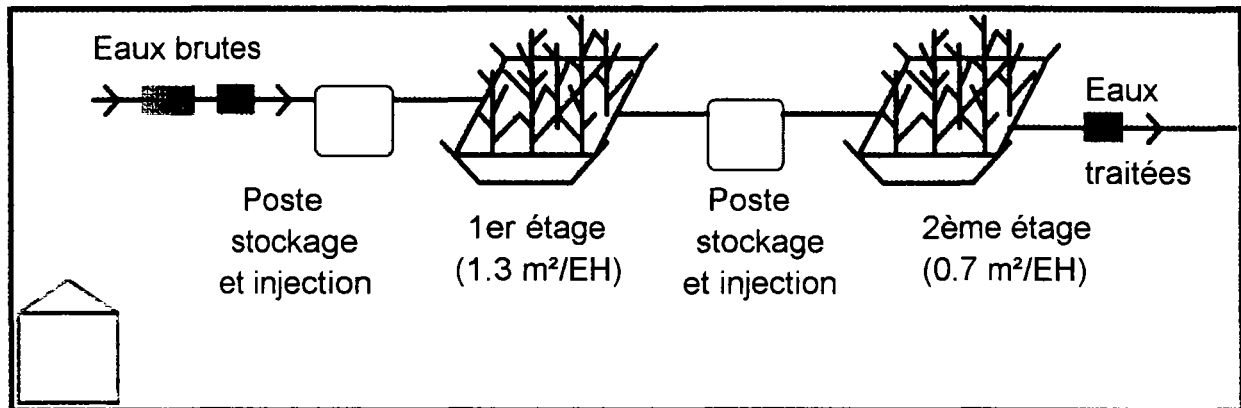
⊕ Les filtres plantés de roseaux

La filière-type est constituée tout d'abord d'un réservoir de stockage et d'un dispositif de vidange à fort débit permettant d'alimenter les massifs filtrants étanches, garnis de graviers et plantés de roseaux du 1^{er} étage. Les eaux sont ensuite acheminées vers le 2^{ème} étage, via un autre ouvrage de stockage et dispositif de vidange, où elles sont distribuées dans des bassins étanches, drainés, garnis de sable et graviers et plantés de roseaux.

Les roseaux dont le développement racinaire intense n'est plus à prouver assurent, principalement sur les filtres du 1^{er} étage, un rôle de maintien de la perméabilité initiale du massif filtrant en perforant la couche de dépôts superficiels et en stimulant sa minéralisation. Leur présence permet donc de traiter directement des eaux usées simplement dégrillées, sans décantation préalable (Esser et coll., 1997).

³ : Valeur évaluée à partir de la prestation d'exploitation pour 400 EH, considérée comme incompressible

L'ensemble des surfaces plantées couvre environ 2 m²/EH, le 1er étage ayant une surface plus grande que le 2ème étage comme le souligne la figure n°9 ci-dessous.



Variante :

- Surfaces plantées très réduites sur les 2 étages proposées par une société originaire de Touraine

Figure 9 : Les filtres plantés de roseaux.

La filière « filtres plantés de roseaux » est proposée par plusieurs bureaux d'étude qui ne préconisent pas tous les mêmes bases de dimensionnement. Un sous-dimensionnement pourra conduire, dès que la station recevra une charge de pollution correspondant à celle retenue dans le projet à un colmatage du massif par effet de surcharge organique et d'un manque d'oxygénation.

Les coûts d'une telle filière, établis à partir de données nationales sont les suivants :

| | | 100 EH | 400 EH | 1000 EH |
|----------------|------------|------------------|--------|---------|
| investissement | F HT/EH | 3150 | 1500 | 1040 |
| exploitation | F HT/EH.an | 300 ³ | 75 | 41 |

Tableau 8 : Ordre de grandeur des coûts de la filière : filtres plantés de roseaux.

⊕ **Les filtres enterrés**

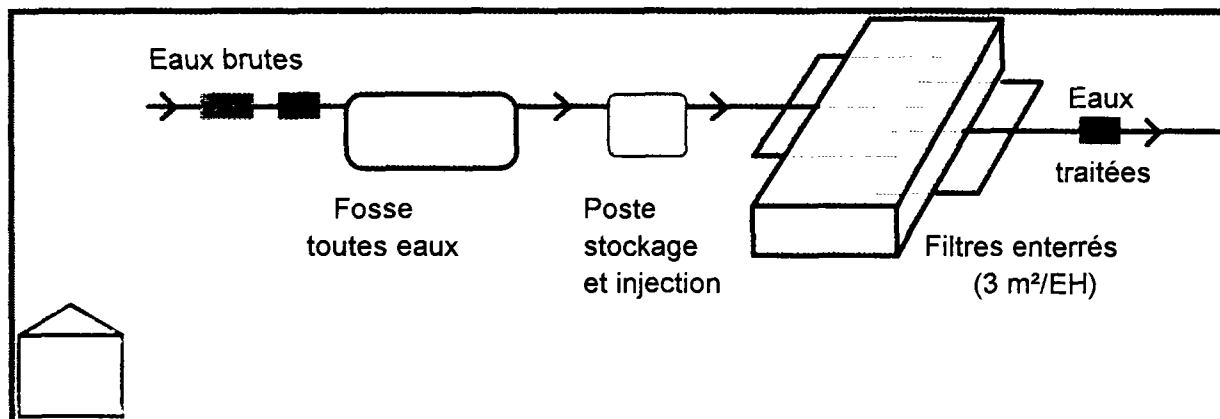
La filière-type décrite dans la figure n°10 est composée :

- d'une fosse toutes eaux,
- d'un réservoir et d'un dispositif de vidange à fort débit,
- d'un système de distribution enterré alimentant un massif de sable grossier.

La plage d'infiltration est donc **enterrée**. Le massif est **drainé** et **étanché**. Une première couche de graviers, enrobant les drains de répartition est posée sur 0,70 m de sable. La couche drainante est constituée de gros galets comme celle des lits d'infiltration-percolation.

³ : Valeur évaluée à partir de la prestation d'exploitation pour 400 EH, considérée comme incompressible

Le contrôle visuel de l'évolution biologique du massif n'étant pas possible il convient de prendre, lors du dimensionnement, des marges de sécurité supplémentaires afin de réduire au maximum le risque de colmatage. La valeur de 3 m²/EH semble désormais admise. Afin de réduire les contraintes d'exploitation et de limiter la fréquence des passages, le fonctionnement de seulement deux plateaux en alternance (au lieu de 3 comme signalé en introduction) devrait pouvoir s'envisager pour de très petites unités.



Variantes :

- Filtres surélevés répondant à la dénomination de *tertre*
- Usage de matériaux divers :
 - zéolithe (sur surfaces très réduites $\approx 0.6 \text{ m}^2/\text{EH}$)
 - pouzzolane
- Filtres non drainés
- Décantateur-digester + filtres enterrés

Figure 10 : Les filtres enterrés.

Les variantes (Cf. variantes Fig.10) sont nombreuses : la plus connue est probablement le « *tertre* », terme issu de l'assainissement non collectif. Dans ce cas précis la vidange du réservoir est assurée par une pompe qui simultanément élève l'eau vers la zone de dispersion à l'intérieur du massif sableux, généralement « hors sol ».

Les filtres enterrés ne sont pas tous drainés, ce qui présente les mêmes intérêts et/ou inconvénients que les lits d'infiltration-percolation. La fosse toutes eaux qui produit un effluent septique, donc malodorant dès qu'il est tant soit peu brassé à l'air, peut être remplacée si nécessaire par un décantateur-digester.

La filière-type est constituée de sable, pourtant le garnissage est parfois différent : il semblerait possible d'utiliser de la pouzzolane si ce matériau est disponible localement.

Une société commercialise un produit dont la nature du garnissage, la zéolithe, permettrait de réduire à 0,6 m²/EH l'emprise du filtre. Ce système s'intègre toutefois dans un ensemble : fosse toutes eaux + préfiltre (encore appelé décolloïdeur) + auget basculeur, spécialement conçu, offrant a priori des caractéristiques originales et intéressantes. Le produit étant néanmoins de développement récent, il n'est pas encore possible d'émettre un avis objectif sur cette offre.

Les coûts, établis à partir de données nationales, sont les suivants :

| | | 100 EH | 400 EH |
|----------------|------------|------------------|--------|
| investissement | F HT/EH | 4920 | 3530 |
| exploitation | F HT/EH.an | 250 ³ | 62 |

Tableau 9 : Ordre de grandeur des coûts de la filière : filtres enterrés.

Les 3 filières à cultures fixées sur supports fins ont en commun un certain nombre d'avantages :

- fonctionnant sans appareillage électromécanique, elles peuvent être exploitées par un personnel n'ayant pas de formation particulière mais néanmoins motivé et capable de comprendre les principes généraux de fonctionnement du procédé;
- la qualité du rejet est très correcte pour les paramètres caractérisant la matière organique (DCO, DBO₅), la fraction particulaire (MES) mais aussi l'azote (NK) ;
- comparée à celle d'un lagunage naturel, l'emprise au sol est faible.

La contrainte majeure commune provient du passage régulier (2 fois par semaine) pour manoeuvrer les vannes d'alimentation.

Pourtant ces filières diffèrent entre elles sur quelques points.

Les lits d'infiltration-percolation peuvent, si leur dimensionnement est adapté assurer un abattement très significatif des germes témoins de contamination fécale (Agences de l'Eau, 1993). De plus, la filière bénéficie d'un développement désormais ancien et déjà bien reconnu, même si la totalité des paramètres de fonctionnement n'est pas encore maîtrisée. On compte plus de 100 installations en France.

L'intérêt majeur des filtres plantés de roseaux, réside dans la gestion réduite au minimum des boues primaires (sous-produits de l'épuration difficilement valorisables sur terrains agricoles du fait de leur stabilisation incomplète, génératrice d'odeurs à la manipulation et de leur faible valeur agronomique). La filière est conçue pour traiter des eaux usées seulement dégrillées, sans décantation préalable et selon un processus complètement aérobie qui confère au traitement une innocuité olfactive si le réseau ne délivre pas lui même un effluent septique. Les dépôts qui se transforment en boues minéralisées, ayant essentiellement un aspect de terreau, sont évacués si nécessaire, à partir de la surface des filtres du 1^{er} étage. Compte tenu de l'expérience acquise sur le 1^{er} étage d'une installation de 1600 EH en Charente, la fréquence d'évacuation pourrait être de l'ordre de 1 fois tous les 10 ans.

³ : Valeur évaluée à partir de la prestation d'exploitation pour 400 EH, considérée comme incompressible

Les filtres enterrés bénéficient d'une bonne image auprès des collectivités qui apprécient de « cacher » entièrement leur station d'épuration. L'intégration paysagère est dans ce cas réputée réussie, ce qui permet de souvent de réduire, à tort ou à raison, la distance aux habitations ou édifices divers. Par contre, puisqu'il est impossible de visualiser la surface du filtre, il n'est pas facile de vérifier la bonne équi-répartition des eaux si le système n'a pas été spécialement aménagé et il est aussi malaisé de contrôler en temps voulu, le suivi d'indices tendant à montrer le développement d'un processus de colmatage sur tout ou partie du massif filtrant. Le coût à l'investissement d'un tel procédé apparaît très élevé : cela provient essentiellement des bases de dimensionnement sécuritaires ($3 \text{ m}^2/\text{EH}$) préconisées.

Deux filières utilisent les capacités épuratoires du **sol en place** et répondent à la dénomination **cultures fixées sur supports fins** : ce sont « l'épandage souterrain » et « l'épandage superficiel ».

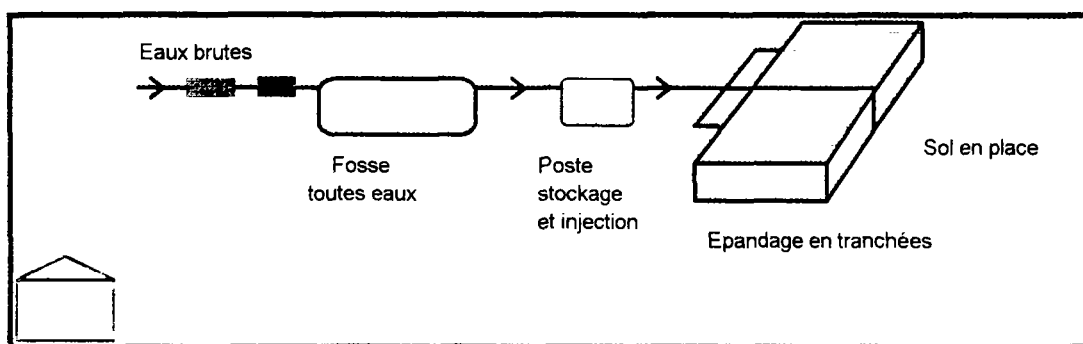
⊗ L'épandage souterrain

La figure n°11 ci-dessous fournit un descriptif sommaire de la filière-type constituée :

- d'une fosse toutes eaux,
- d'un réservoir de stockage et alimentation à fort débit,
- d'un dispositif de distribution sur 2 plateaux au moins, fonctionnant en alternance.

Chaque plateau est constitué de plusieurs tranchées dont le fond, garni de gros galets au sein desquels sont posés des drains de répartition, assure la dispersion de l'effluent à traiter vers le sol en place.

Les bases de dimensionnement ne sont pas fournies puisqu'elles sont directement dépendantes des caractéristiques du sol en place. La connaissance du coefficient de perméabilité (ou coefficient de Darcy) de la tranche de sol assurant l'épuration permettra de définir précisément la surface minimale du fond des tranchées (Gril, 1982).



Variantes :

- Existence d'épandages sans pression essentiellement utilisés en assainissement non collectif
- Décanteur-digesteur + épandage en tranchées
- Remplacement de l'épandage en tranchées par un lit filtrant si conditions de sol particulières

Figure 11 : L'épandage souterrain.

Il est possible (Cf. variantes Fig.11) de remplacer la fosse toutes eaux par un décanteur-digester (comme pour les filtres enterrés). Si la nature et/ou la texture du sol provoque des difficultés majeures dans la réalisation des tranchées, il est possible, sous réserve d'accroître les bases de dimensionnement, de réaliser un lit filtrant. Cette variante consiste en la réalisation, à la surface du sol en place, d'une zone de répartition de l'effluent constituée de drains positionnés dans un massif de gros galets.

Une autre variante, que nous souhaiterions voir réservée exclusivement au domaine de l'assainissement non collectif où elle est très largement utilisée, consiste à alimenter les tranchées au fil de l'eau, sans pression en l'absence d'ouvrage de stockage et d'alimentation par bâchées.

Ⓢ L'épandage superficiel

L'autre filière, appelée « épandage superficiel » est basée sur une démarche de dimensionnement similaire à celle de l'épandage souterrain mais les eaux prétraitées sont distribuées dans un réseau superficiel. Ce dernier se résume à des billons réalisés à l'aide d'un matériel agricole commun, appelé « charrue billonneuse », en suivant les courbes de niveau pour que l'eau ne dévale pas la pente mais se répartisse doucement en fonction de processus de colmatage localisés et maîtrisables par alimentation alternée de 2 plateaux indépendants.

La figure n°12 fait état de la simplicité de sa mise en oeuvre.

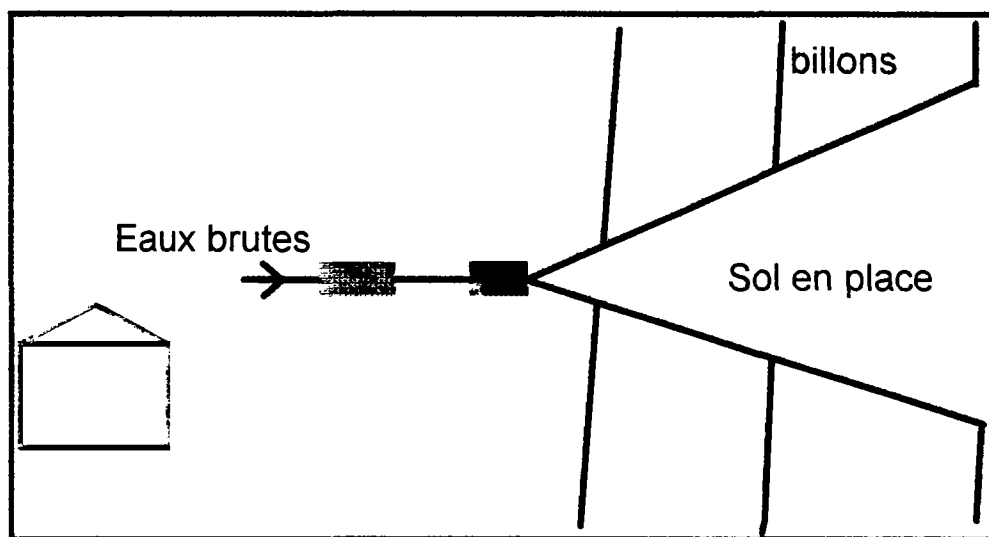


Figure 12 : L'épandage superficiel.

Pour ces deux derniers types d'installations, les données relatives aux coûts d'exploitation et d'investissement ne sont pas disponibles.

Ils présentent les intérêts suivants :

- ce sont des procédés exploitables par un personnel n'ayant pas de formation spécialisée ;
- le traitement et l'évacuation des eaux usées sont assurés simultanément ;
- l'effluent ainsi dispersé dans le milieu souterrain devrait présenter, sous réserve d'études géotechniques préalables complètes, les qualités requises sur l'ensemble des paramètres pour limiter au maximum les risques de contamination des eaux souterraines.

En revanche et en raison des exigences par rapport aux caractéristiques du sol, l'implantation de ces épandages n'est pas toujours aisée. De surcroît, l'emprise au sol est fréquemment importante, souvent supérieure à 10 m²/EH.

Le contrôle de la qualité du rejet est impossible du fait de l'évacuation des eaux concomitamment au traitement.

L'épandage souterrain, comme « les filtres enterrés » souffre de la non visibilité de la répartition de l'effluent et de l'évolution vers un éventuel colmatage du sol en place.

L'épandage superficiel (pour lequel la dispersion de l'effluent est à l'air libre) permet une surveillance aisée des billons voire un entretien léger avec des outils à main. La contrainte principale consiste en leur réfection épisodique lorsque la partie amont se colmate ou s'encombre de dépôts réduisant la revanche qui permet de circonscrire le cheminement de l'eau dans ces tranchées ouvertes.

Ce procédé, très peu développé sur le territoire français, porte une image très défavorable et souffre d'une barrière psychologique provoquée par son manque de technicité. Dans le cas de petites unités (jusqu'à environ 200 habitants) et lorsque le terrain peut être isolé de toute fréquentation, il pourrait pourtant contribuer au même titre que les autres filières davantage connues, à protéger le milieu naturel.



Le but de cet article est de faire état des nombreuses possibilités offertes aux maîtres-d'ouvrages ainsi qu'aux maîtres-d'oeuvres des petites collectivités en matière de stations d'épuration. 10 grands types de procédés présentant des avantages, des limites et un domaine d'application adapté. Dans certains cas, on mentionne brièvement l'existence de procédés dérivés intitulés « variantes ». Ils ont été classifiés au sein de divers types sans pour autant qu'un avis technique puisse être porté sur chacun d'eux.

Il est hors de question de privilégier, ni de rejeter a priori une filière. Par contre, il convient de mettre en place une réflexion afin d'identifier, pour chacune des situations, les paramètres principaux qui permettront le meilleur choix pour la collectivité et le milieu naturel concernés. Dans ces conditions, les tableaux de synthèse présentés ci-dessous sont à lire avec une très grande prudence et ne peuvent résumer que très sommairement la complexité des contextes, à chaque fois uniques, rencontrés sur le terrain.

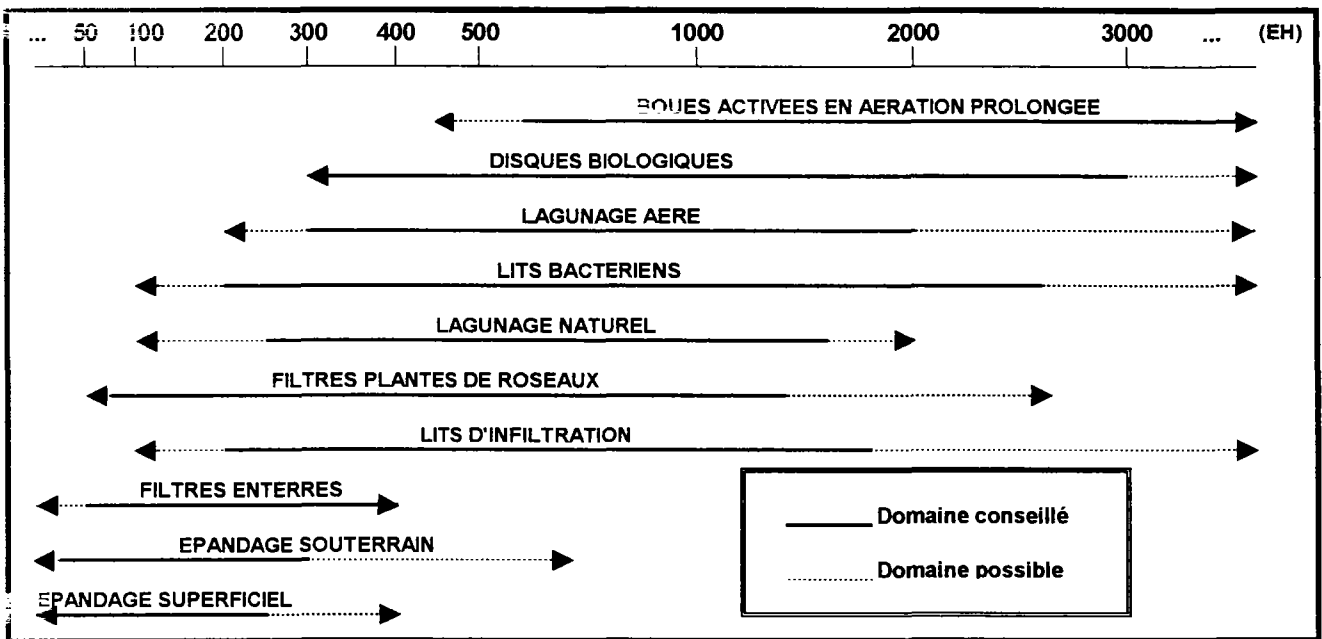


Figure 13 : Domaine d'application des filières par rapport à la taille de la population.

La figure n°13 ci-dessus, résume l'adaptation d'une filière par rapport à la taille de la population.

Les filières enterrées (filtres enterrés, épandage souterrain) mais aussi l'épandage superficiel s'adaptent le mieux aux toutes petites collectivités mais possèdent un domaine d'application de faible amplitude.

Les filtres plantés de roseaux répondent aussi aux besoins du tout petit collectif. La taille minimale des autres filières débute aux environs des 200 - 300 EH, excepté pour la boue activée qui n'est désormais conseillée que pour une population de taille supérieure à 600 EH.

La taille de 1 000 EH est, pour 7 filières sur 10, entièrement dans le domaine d'application conseillé.

Au dessus de 2 000 EH, seuls la boue activée, les disques biologiques et les lits bactériens sont conseillés. Le lagunage naturel, seul, n'est plus envisageable ; le traitement doit être complété par exemple, par une infiltration-percolation. L'usage des 3 autres filières est encore possible.

Le tableau intitulé « comparaison technique et économique des filières » ci-dessus essaie de faire apparaître les points forts de chaque procédé.

Ces atouts majeurs sont signalés par ♦♦♦♦ et éventuellement par ♦♦♦

Les cases laissées blanches doivent être interprétées, non pas comme manifestant un intérêt médiocre (voire une filière à éviter) mais souvent comme une situation moyenne qui ne justifie pas de remarque spécifique.

| Adaptation à | | | | | Procédés fonctionnant sans électricité | | | | | |
|----------------------------|--------------------|---------------------|----------------|------------------|--|---------------------|--------------------|---------------------|-------------------|-------------------|
| | B. A. aér.prol. | Disques biologi. | Lag. aéré | Lit bactérien | Lag. naturel | Lit infiltration | Filtres plantés | Filtres enterrés | Epand. Souter. | Epand. Superf. |
| Traitement | | | | | | | | | | |
| 1at.Org. | ♦♦♦♦♦ | ♦♦♦ | | | | ♦♦♦♦♦ | ♦♦♦♦♦ | ♦♦♦♦♦ | ♦♦♦♦♦ | ♦♦♦♦♦ |
| NK | ♦♦♦♦♦ | | | | | ♦♦♦ | ♦♦♦ | ♦♦♦ | ♦♦♦ | ♦♦♦ |
| NGL | ♦♦♦♦♦ | | | | ♦♦♦ | | | | | |
| P | poss. | | | | ♦♦♦ | | | | | |
| Effluent | | | | | | | | | | |
| dilué | | | ♦♦♦ | | ♦♦♦♦♦ | | | | | |
| non dilué | ♦♦♦♦♦ | | ♦♦♦♦♦ | ♦♦♦ | | ♦♦♦ | ♦♦♦ | | | |
| Variation ch. hydraul. | | | ♦♦♦ | | ♦♦♦♦♦ | | | | | |
| Variation de population | | | ♦♦♦ | | ♦♦♦♦♦ | | ♦♦♦♦♦ | ♦♦♦♦♦ | ♦♦♦♦♦ | ♦♦♦ |
| Faible emprise | ♦♦♦♦♦ | ♦♦♦♦♦ | | ♦♦♦♦♦ | | | | | | |
| Qualité ss-sol et sol | | | im- portant | | déter- minant | | | | déter- minant | déter- minant |
| Climat rigoureux | | ♦♦♦♦♦ | | | | | | ♦♦♦ | ♦♦♦ | |
| Impact visuel réduit | | | ♦♦♦ | | ♦♦♦♦♦ | ♦♦♦ | ♦♦♦♦♦ | ♦♦♦♦♦ | ♦♦♦♦♦ | |
| Peu d'odeurs | | | ♦♦♦ | | | | ♦♦♦♦♦ | ♦♦♦ | ♦♦♦ | |
| Pas de bruit | | ♦♦♦ | | ♦♦♦ | ♦♦♦♦♦ | ♦♦♦♦♦ | ♦♦♦♦♦ | ♦♦♦♦♦ | ♦♦♦♦♦ | ♦♦♦♦♦ |
| Coût d'expl. (F HT/an) | | | | | | | | | | |
| 400 EH | 123 | 89 | — | 89 | 43 | 90 | 75 | 62 | — | — |
| 1000 EH | 79 | 54 | — | 50 | 21 | 42 | 41 | — | — | — |

Tableau 10 : Comparaison technique et économique des filières.

En ce qui concerne les paramètres caractéristiques de la qualité du rejet, la technique par boues activées montre clairement ses capacités à fournir, un effluent de bonne qualité sur tous les paramètres. Les potentialités des cultures fixées sur supports fins à éliminer la matière organique et à nitrifier apparaissent aussi. Les capacités du lagunage à réduire l'azote global et le phosphore sont signalées.

La dilution de l'effluent a un effet bénéfique sur le fonctionnement d'un lagunage. La plupart des autres filières ont tendance à fonctionner plutôt mieux si elles traitent un effluent normalement concentré, non dilué par des eaux parasites. Pour les disques biologiques, les filtres enterrés, les épandages souterrain et superficiel, le taux de dilution n'entre que peu en considération.

Les lagunages (naturel ou aéré) acceptent sans risque majeur des à-coups de charge hydrauliques accidentels du fait du temps de séjour prolongé de l'effluent dans les bassins.

La variation de population d'une collectivité peut être un facteur déterminant. Dimensionnées pour la pointe de charge de pollution, un grand nombre de filières répondent à ce besoin particulier. On pourra privilégier les procédés qui ne possèdent pas de décanteur-digesteur. Leur dimensionnement théorique étant calculé à partir d'un débit de pointe, en période de faible fréquentation, les temps de séjour importants dans cet ouvrage conduiront probablement à rendre l'effluent septique et malodorant. Une recirculation contrôlée peut malgré tout résoudre, en partie, cette difficulté (par exemple pour les disques biologiques, fréquemment utilisés dans le cas de pointe de population hivernale).

En ce qui concerne l'espace disponible, l'emprise au sol des boues activées des disques biologiques et des lits bactériens est réduite comparée aux autres filières non intensives.

Pour les épandages mais aussi le lagunage, la qualité du sous-sol et sol en place est déterminante ; pour les épandages, sont recherchés les sols perméables ; à l'inverse pour le lagunage, on souhaite un sol naturellement imperméable. Si la collectivité se trouve en altitude ou dans une zone de climat rigoureux, on pensera en priorité aux filières déjà normalement protégées du froid par une couverture donc moins sensibles aux faibles températures (telle que les disques biologiques, les filtres enterrés et l'épandage souterrain).

Sur le plan « intégration dans un site », les stations enterrés, le lagunage naturel et les filtres plantés sont connus pour avoir un impact visuel très réduit ou éventuellement agréable.

Les critiques relatives aux nuisances olfactives concernent peu les filières enterrées ainsi que les filtres plantés de roseaux. Les procédés possédant un décanteur-digesteur peuvent émettre des odeurs désagréables à ce stade du traitement. Le lagunage, lorsqu'il est sujet à des dysfonctionnements est malodorant.

Les filières n'utilisant pas d'électricité ne produisent aucune nuisance sonore, celles qui fonctionnent sans turbine n'émettent que très peu de bruit.

Les coûts d'exploitation apparaissent ensuite pour les deux gammes de population : 400 EH - 1000 EH. Le coût de fonctionnement de la boue activée apparaît clairement comme le plus élevé.

La faible taille, et les différences de localisation des échantillons étudiés ne permettent pas d'effectuer un comparatif précis des coûts d'investissement.

Les coûts présentés fournissent néanmoins des ordres de grandeur. Ainsi, on peut raisonnablement considérer qu'on ne pourra pas traiter la pollution émise par 100 EH pour moins de 3 200 F HT/EH. Pour 400 EH, ce seuil diminue de moitié et se fixe à 1 500 F HT/EH. Pour une valeur moyenne du coût d'investissement de 1 000 F HT/EH, ce seuil descend à 800 F HT/EH pour les stations traitant 1 000 EH. L'effet de taille apparaît clairement.

Le panel des filières d'épuration adaptées aux petites collectivités, déjà bien étoffé, devrait encore se développer à court terme. Les associations de filières entre elles telles que les cultures libres suivies de cultures fixées (par exemple : le lagunage naturel + l'infiltration-percolation) utilisant les avantages combinés de chacun des processus épuratoires apparaissent progressivement. On manque encore de recul et/ou de données pour définir précisément les bases de dimensionnement de telles stations d'épuration.

Après analyse détaillée de la demande spécifique de chaque collectivité, il semble désormais possible de trouver le compromis technique et économique le mieux adapté à chaque situation, sous réserve d'une réflexion préalable complète.

RÉFÉRENCES

Agences de l'Eau (1993). Epuration des eaux urbaines par infiltration-percolation : état de l'art et étude de cas. *Etude inter-agences* n°9, 89 p.

AGHTM (1994). Conclusion du groupe de travail « Autosurveillance des usines d'épuration ». Document provisoire, juin 1994, 13 p + annexes.

Esser D., Boutin C., Liénard A. (1997). Développement d'une nouvelle génération de filtres plantés de roseaux en France : premiers résultats. *8^{èmes} Rencontres de l'ARPE « Quelle station d'épuration choisir en 2005 ? » 9 octobre 1996*, (à paraître).

Genthial V. (1995). Analyse d'adéquation du traitement des eaux usées des petites collectivités (50 - 1 000 équivalents-habitants). Rapport de stage, ENGEES, juin 1995, 127 p.

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, (Belgique) pp. 173-192.

Lagrange C., Alexandre O. (1997). Coût des filières d'épuration des eaux résiduaires urbaines adaptées aux collectivités de moins de 3 000 équivalents-habitants. Collection Etudes, Ed. Cemagref, (à paraître).

Liénard A., Convert P., Boutin C. (1996). Efficacité des procédés rustiques vis-à-vis des composés azotés. In : « Traitement de l'azote, cas des eaux résiduaires et des lisiers », Pollutec Lyon 1996, Ed. Cemagref, Antony, (France) pp. 63-77.

Liénard A., Racault Y., Boutin C. (1997). Systèmes de traitement des eaux usées par cultures fixées sur supports grossiers : lits bactériens conventionnels et préfabriqués monoblocs, disques biologiques. *8^{èmes} Rencontres de l'ARPE « Quelle station d'épuration choisir en 2005 ? » 9 octobre 1996*, (à paraître).

Loi sur l'eau (1992). Loi N°92-3 du 3 janvier 1992 parue au J.O. du 4 janvier 1992

Pochet C. (1994). Coût des stations d'épuration de capacités inférieures à 2 000 équivalents-habitants. Mémoire de mastère « eau potable et assainissement », ENGEES, octobre 1994, 60 p. + annexes.

Racault Y., Séguret F. (1996). Eléments de dimensionnement pour la nitrification en lit bactérien, In : « Traitement de l'azote, cas des eaux résiduaires et des lisiers », Pollutec Lyon 1996, Ed. Cemagref, Antony, (France) pp. 21-37.

SATESE - Cemagref., Agences de l'Eau., ENSP (1997). Le lagunage naturel. Les leçons tirées de 15 ans de pratique en France. 47 p. + annexes (à paraître).