

# **ASSISTANCE TECHNIQUE DE LA FAO**



**Convention FAO/UTF/MOR/023/MOR**

## **ASSISTANCE TECHNIQUE AU PROGRAMME DE DEVELOPPEMENT DE L'ALIMENTATION EN EAU POTABLE RURALE ET DE L'ASSAINISSEMENT**

**entre**

**l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et  
l'Agriculture (FAO)**

**et**

**l'Office National de l'Eau Potable (ONEP), MAROC**

## **MANUEL TECHNIQUE POUR LA CONCEPTION, LE DIMENSIONNEMENT, L'IMPLANTATION, LA CONSTRUCTION ET L'EXPLOITATION DES SYSTEMES D'EPURATION DES EAUX USEES ADAPTES A DES INSTALLATIONS DE PETITE CAPACITE**

### **PARTIE II : PETITES COLLECTIVITES**

**Rapport de mission**

**préparé par**

**M. Raoul GRELA - Consultant international**

**Date mission : Février 2006**

**Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture  
(FAO)**

**Rome, (année 2006)**



## Table des matières

Synthèse et recommandations .....	1
1 Introduction .....	1
2 Contraintes locales et solutions techniques .....	2
3 Aspects économiques .....	6
3.1 Conditions d'implantation du réacteur anaérobie compartimenté envisagées dans la simulation économique .....	7
3.2 Conditions d'implantation du filtre à sable avec recirculation envisagées dans la simulation économique .....	7
3.3 Conditions d'implantation du filtre planté horizontal envisagées dans la simulation économique.....	8
3.4 Conditions d'implantation des lits d'infiltration envisagées dans la simulation économique.....	8
Chapitre 1 : Spécificités de l'assainissement des petites collectivités rurales .....	13
1 Typologie des eaux rejetées .....	13
2 Valeurs limites de rejet.....	13
3 Eléments des systèmes d'épuration adaptés aux petites collectivités .....	16
4 Classification des systèmes d'assainissement adaptés aux petites collectivités	17
Chapitre 2 : prétraitement et traitement primaire .....	19
1 Rôle.....	19
2 Dégrillage.....	19
3 Fosse Imhoff .....	20
3.1 Présentation de la fosse Imhoff .....	21
3.2 Principe de dimensionnement de la fosse Imhoff .....	22
3.3 Exemple de calcul .....	22
3.4 Plan type de la fosse Imhoff .....	23
4 Fosse septique.....	23
4.1 Présentation de la fosse septique.....	23
4.2 Plan d'une fosse septique .....	24
4.3 Principes de dimensionnement de la fosse septique.....	25



4.4	Consignes d'implantation de la fosse septique.....	25
4.5	Préfiltre .....	25
4.6	Exemple de calcul .....	28
Chapitre 3 : systèmes extensifs.....		29
1	Systèmes extensifs à biomasse libre .....	29
1.1	Lagunage naturel.....	31
1.1.1	Traitement préalable au lagunage naturel.....	32
1.1.2	Dimensions des bassins de lagunage naturel .....	32
1.1.3	Hydraulique des bassins de lagunage naturel.....	32
1.1.4	Contraintes d'implantation du lagunage naturel .....	33
1.1.5	Exploitation du lagunage naturel.....	35
1.2	Lagunage aéré .....	36
1.2.1	Présentation du lagunage aéré .....	36
1.2.2	Traitement préalable au lagunage aéré .....	37
1.2.3	Nombre de bassins du lagunage aéré .....	38
1.2.4	Système d'aération du lagunage aéré.....	38
1.2.5	Hydraulique des bassins de lagunage aéré .....	40
1.2.6	Contraintes d'implantation du lagunage aéré .....	40
1.2.7	Exploitation du lagunage aéré.....	41
2	Systèmes extensifs à biomasse fixée .....	43
2.1	Filtres à sable non plantés.....	43
2.2	Filtres à sable non plantés à recirculation .....	44
2.2.1	Présentation des filtres à sable non plantés à recirculation .....	44
2.2.2	Dimensionnement des filtres à sable non plantés à recirculation.....	45
2.2.2.1	Charges .....	45
2.2.2.2	Cinétique d'épuration des filtres à sable non plantés à recirculation	46
2.2.2.3	Pompage .....	47
2.2.2.4	Alimentation du filtre .....	48
2.2.2.5	Percolation.....	49



2.2.2.6	Evacuation de l'eau au pied du filtre .....	50
2.2.3	Matériaux et équipements des filtres à sable non plantés à recirculation 50	
2.2.3.1	Canalisations: .....	50
2.2.3.2	Conduites de distribution .....	50
2.2.3.3	Gravier .....	51
2.2.3.4	Sable .....	51
2.2.4	Exploitation des filtres à sable non plantés à recirculation .....	51
2.2.5	Exemple de calcul .....	52
2.2.5.1	Charges .....	52
2.2.5.2	Dimensionnement du groupe de pompage : .....	52
2.2.5.3	Dimensionnement des chambres .....	52
2.2.6	Conclusions concernant les filtres à sable non plantés à recirculation	53
2.3	Filtres plantés (Marais artificiels) .....	55
2.3.1	Présentation des filtres plantés. ....	55
2.3.2	Les filtres plantés à écoulement vertical .....	55
2.3.2.1	Présentation .....	55
2.3.2.2	Critères de conception .....	56
2.3.2.3	Exploitation .....	57
2.3.2.4	Conclusion .....	58
2.3.3	Filtre planté à écoulement horizontal .....	59
2.3.3.1	Présentation des filtres plantés à écoulement horizontal .....	59
2.3.3.2	Prétraitement des filtres plantés à écoulement horizontal .....	60
2.3.3.3	Dimensionnement des filtres plantés à écoulement horizontal .....	60
2.3.3.4	Plantations .....	65
2.3.3.5	Conditions d'installation des filtres plantés à écoulement horizontal	65
2.3.3.6	Alimentation des filtres plantés à écoulement horizontal .....	65
2.3.3.7	Exploitation .....	65
2.3.3.8	Exemple de calcul : .....	66
2.3.3.9	Plan type d'un filtre planté à écoulement horizontal .....	67



2.3.3.10	Conclusions sur les filtres plantés à écoulement horizontal .....	67
Chapitre 4 : systèmes intensifs .....		69
1.	Systèmes aérobies intensifs à biomasse libre .....	69
2.1	Boues activées à recirculation .....	69
2.1.1	Présentation .....	69
2.1.2	Conception des boues activées avec recirculation.....	71
2.1.2.1	Dégrillage/décantation primaire .....	71
2.1.2.2	Réacteur biologique.....	71
2.1.2.3	Système d'aération .....	72
2.1.2.4	Clarificateur (décanteur secondaire).....	72
2.1.2.5	Bassins des boues .....	73
2.1.2.6	Extraction des boues .....	73
2.1.3	Exploitation.....	74
2.1.4	Conclusion .....	75
2.2	Boues activées à réacteurs biologiques séquentiels (RBS) .....	76
2.2.1.1	Présentation .....	76
2.2.2	Principes de fonctionnement des RBS.....	77
2.2.2.1	Dégrillage/décantation primaire .....	78
2.2.2.2	Réacteur biologique.....	78
2.2.2.3	Système d'aération .....	79
2.2.2.4	Clarificateur .....	79
2.2.2.5	Bassins des boues .....	79
2.2.3	Exploitation.....	79
2.2.4	Conclusion .....	79
2.3	Réacteur anaérobie compartimenté .....	80
2.3.1	Dimensionnement du réacteur anaérobie compartimenté.....	81
2.3.2	Performances du réacteur anaérobie compartimenté .....	81
2.3.3	Mise en œuvre du réacteur anaérobie compartimenté.....	82
2.3.4	Plan type .....	83



---

2.3.5	Exemple de calcul de dimensionnement du réacteur anaérobie compartimenté .....	83
2.3.6	Conclusion .....	84
3	Systèmes aérobies intensifs à biomasse fixée.....	85
3.1	Disques biologiques .....	85
3.1.1	Présentation des disques biologiques.....	85
3.1.2	Traitement préalable aux disques biologiques .....	86
3.1.3	Conception et dimensionnement des disques biologiques.....	86
3.1.3.1	Nombre d'étages .....	87
3.1.3.2	Milieu de support .....	87
3.1.3.3	Aspects structuraux et mécaniques.....	88
3.1.3.4	Clarificateur .....	89
3.1.4	Exploitation.....	89
3.2	Les lits ou filtres bactériens aérobies à percolation .....	91
3.2.1	Présentation des lits bactériens .....	91
3.2.2	Dimensionnement d'un lit bactérien .....	93
3.2.3	Exploitation d'un lit bactérien.....	94
3.2.4	Conclusions.....	94
	Lexique.....	95
	Bibliographie.....	100



## Figures et Tableaux

Figure 1 : inventaire des milieu récepteurs pour le rejets des eaux usées épurées des collectivités rurales .....	15
Figure 2 : Illustration de la fosse Imhoff .....	21
Figure 3 : plan type de la fosse Imhoff.....	23
Figure 4 : plans d'une fosse septique .....	25
Figure 5 : plans de préfiltres de fosse septique .....	27
Figure 6 : Schéma de principe de lagunage naturel équipé d'un premier bassin anaérobie.....	31
Figure 7 : présentation du lagunage aéré.....	37
Figure 8 : dégrilleurs simplifiés pour les lagunes aérées .....	38
Figure 9 : exemple de petit aérateur de surface utilisé pour le lagunage naturel.....	39
Figure 10 : Schéma de principe d'un filtre à sable non planté à recirculation .....	44
Figure 12 : filtres plantés à écoulement vertical.....	55
Figure 13 : schéma des filtres plantés à écoulement horizontal .....	59
Figure 15 : plan type d'un filtre planté horizontal .....	67
Figure 16 : schéma de principe d'épuration par boues activées avec recirculation ..	70
Figure 17 : schéma de l'épuration par réacteur biologique séquentiel.....	76
Figure 18 : réacteur anaérobie compartimenté.....	80
Figure 19 : plans types du réacteur anaérobie compartimenté.....	83
Figure 20 : schéma d'un système d'épuration par biodisques .....	85
Figure 21 : Schéma d'un lit bactérien .....	91
Tableau 1 : adéquation des solutions d'épuration aux contraintes de terrain .....	6
Tableau 2 : comparaison des solutions adaptées aux collectivités rurales.....	9
Tableau 3 : temps de séjour pour des filtres plantés horizontaux en fonction de la température de l'eau et du niveau d'épuration.....	62
Tableau 4 : conductivité hydraulique du gravier pour les filtres plantés horizontaux	64



## SYNTHÈSE ET RECOMMANDATIONS

### 1 Introduction

L'assainissement en milieu rural notamment au Maroc présente des contraintes spécifiques, à savoir :

1. une population variant de quelques centaines à quelques milliers d'habitants dont la production d'eaux usées peut varier considérablement en débit et en concentration ;
2. diverses options de rejet. Il n'est pas toujours aisé de disposer de voie d'eau de surface à proximité de la zone de production des eaux usées. Si dans le cas de l'assainissement urbain, il est concevable de transporter et de pomper l'eau usée sur de longues distances, cette option engendre des coûts importants par habitant dans le cas de petites collectivités. La solution d'épuration devra donc bien adaptée aux possibilités locales de rejets ; les autres milieux récepteurs que sont le sol et les cultures doivent être pris en considération dès le début des études;
3. une surveillance et une maintenance des installations qui peuvent s'avérer difficiles du fait de l'éloignement et de l'accessibilité de ces localités. Ces installations ne justifient pas la présence permanente d'un exploitant et sont régulièrement éloignées des centres urbains qui disposent du personnel qualifié. Afin d'en réduire le coût d'exploitation, les modalités de suivi et de maintenance par une personne de la localité assainie sont des options à examiner (micro-entreprises) ;
4. pouvoir être implantées de façon modulaire de manière à être éventuellement agrandies en fonction de l'évolution de la démographie, de la typologie des eaux usées rejetées et des modalités de rejet ;

Ces différentes contraintes conduisent à opter souvent pour des systèmes peu ou pas mécanisés, modulaires et de préférence sans surface d'eau libre.

Les systèmes extensifs fonctionnent avec très peu d'entretien et de maintenance et supportent plus facilement de fortes variations de charge.

Les solutions extensives à biomasse fixée et par épuration anaérobie répondent à l'ensemble des contraintes déjà énumérées. Cependant ces techniques présentent également l'inconvénient d'occuper de grandes surfaces, parfois non compatibles avec l'affectation foncière de la zone, particulièrement au niveau des infrastructures touristiques.



C'est pourquoi, dans le cadre de ce manuel divers systèmes intensifs aérobies sont sommairement présentées. Cependant, pour des infrastructures commerciales disposant de peu de place, ces systèmes restent des solutions intéressantes. Les systèmes intensifs sont généralement vendus « clés en mains » par divers fabricants qui ont déposé des brevets, dans ce cas, il est important de bien s'assurer des garanties de performance octroyées vis-à-vis des contraintes de fonctionnement à définir par le maître d'ouvrage.

Les solutions d'assainissement à implanter dans les zones rurales devront pouvoir s'adapter :

- à différents types de milieu récepteur, tels que :
  - le rejet en eau de surface (oued, rivière, lac, mer, ...)
  - l'infiltration dans le sol ;
  - l'irrigation de type A, B ou C ;
- à différentes qualités d'eaux usées telles que :
  - les eaux grises seules ;
  - les eaux grises et les eaux vannes ;
  - les eaux grises, les eaux vannes et les eaux de ruissellement des habitations ;
  - des eaux usées décantées ou non décantées ;
- ainsi qu'à d'autres contraintes de terrain, telles que :
  - la perméabilité du sol ;
  - la topographie ;
  - le type d'habitat ;
  - ...

Ces contraintes initiales qui résultent à la fois de choix stratégiques et de la situation existante conditionnent le choix des procédés et leur dimensionnement. C'est pourquoi ce manuel propose quelques procédés à priori bien adaptés au contexte des localités rurales du Maroc mais le choix définitif de la solution à mettre en œuvre dépendra des modalités d'intervention du gestionnaire du service public d'eau potable, d'assainissement et des spécificités de chaque localité.

## 2 Contraintes locales et solutions techniques

Les contraintes des petites collectivités rurales sont multiples et variées avec cependant des contraintes communes, à savoir :



- la nécessité d'opter pour des solutions « clé en mains », pour lesquelles les études de dimensionnement et de conception sont les plus réduites possibles (cette contrainte est pour les petites installations) ;
- la difficulté de prévoir la présence permanente d'une personne spécialisée sur chaque site, ce qui impose le choix de solutions rustiques ou d'une télé surveillance ;
- un environnement industriel généralement peu dense et important, rendant les solutions d'externalisation de la maintenance électromécanique peu réalistes.

Mais les collectivités rurales disposent également de potentialités dont il est utile de tirer profit :

- une main d'œuvre facilement disponible pour assurer des travaux réguliers, à temps partiel ;
- des espaces non construits proches des habitations qu'une réutilisation des eaux usées épurée pourrait mettre en valeur ;
- une implantation et une configuration des habitations permettant souvent un écoulement gravitaire des eaux, parfois en plusieurs sous-bassins unitaires ;

Viennent ensuite des contraintes spécifiques à chaque localité, telles que :

- le type d'habitat et le mode d'alimentation en eau potable
- la nature des sols avoisinants ;
- les types de milieu récepteur ;
- la place disponible ;
- la disponibilité foncière ;
- la topographie ;
- les cultures avoisinantes ;
- les possibilités d'alimentation électrique ;
- ....

Dans les pays où l'épuration des eaux usées de petites collectivités est opérationnelle, des fournisseurs d'installations clé en main proposent des systèmes intensifs fabriqués en atelier et transportés sur le site par camions.

Dans le cas de solutions extensives, le fournisseur dispose d'un réseau d'entrepreneurs locaux qui réalisent les travaux conformément aux prescriptions du concepteur.



Pour les deux types de solution, le fournisseur assume l'obligation de résultat. Dans certains cas, l'offre de fournisseur est accompagnée d'une offre de maintenance.

Actuellement, au Maroc, la stratégie d'intervention pour assurer l'assainissement liquide dans les petites localités est en cours.

Ces diverses contraintes ont conduit à proposer pour l'épuration de rejets domestiques des localités rurales les solutions suivantes :

- épuration par réacteur anaérobie compartimenté ;
- épuration par filtre à sable avec recirculation ;
- épuration par filtre planté horizontal ;
- tranchées et lits d'infiltration (épuration par le sol) ;
- tertres et filtres à sable non drainé (épuration par un sol apporté suivi d'une infiltration) ;
- filtre à sable drainé (aérobie, solution moins compacte mais plus rustique que les filtres à sables avec recirculation).

Ces différentes solutions s'adaptent plus ou moins facilement aux contraintes locales. Par exemple, les filtres plantés sont peu appropriés pour une infiltration sur des sols perméables, du fait du surcoût occasionné par la géomembrane à implanter sur une grande surface mais s'avèrent particulièrement adaptés à des sols plats et peu perméables.

Afin de bien cerner l'intérêt de chacune des solutions en fonction des contraintes locales, le Tableau 1 donne, pour différentes contraintes et les procédés de d'épuration adaptés aux petites collectivités, une estimation de l'adéquation de la solution à la contrainte selon trois niveaux : approprié (+), neutre (+ / -), peu approprié (-)<sup>1</sup>.

Dans le Tableau 1 l'abréviation VIS signifie Vitesse d'Infiltration du Sol et les puissances de 10 sont symbolisées par E suivi de la puissance.

---

<sup>1</sup> Les procédés proposés dans le Tableau 1 ont fait l'objet de présentation dans les parties I et II du manuel. Les boues activées sont également reprises dans ce tableau parce qu'elles sont très peu dépendantes des contraintes de terrain.



Type d'épuration secondaire	Réacteur anaérobie compartimenté	Filtre à sable avec recirculation	Filtre planté horizontal	Tranchées et lit d'infiltration.	Tertre	Filtre à sable non drainé	Filtre à sable drainé	Systèmes intensifs aérobies
<b>Contraintes locales</b>								
<b>Vitesse d'infiltration du sol (VIS)</b>								
VIS > 1,4 E-4 m/s	-	-	-	-	+	+	-	+
1,4 E-4 m/s > VIS > 8,4 E-6 m/s	-	-	-	+	+	+	-	+
8,4 E-6 m/s > VIS > 4,2 E-6 m/s	-	-	-	+	+	+	-	+
4,2 E-4 m/s > VIS > 1 E-6 m/s	-	+/-	-	-	+	+/-	+/-	+
1 E-6 m/s > VIS > 1 E-8 m/s	+/-	+	+/-	-	-	-	+	+
VIS < 1 E-8 m/s	+	+	+	-	-	-	+	+
<b>Alimentation électrique</b>								
Alimentation électrique non disponible	+	-	+	+	+/-	+/-	+/-	-
<b>Topographie</b>								
Surface horizontale	+/-	+	+/-	-	+	+/-	+	+
Pente de 1 à 5 %	+	+/-	+	+	+	+	+	+
Pente de 5 à 10%	+/-	-	-	+/-	-	-	-	+/-
Pente > 10%	-	-	-	+/-	-	-	-	+/-
<b>Disponibilité foncière</b>								
Faible (< 3 m <sup>2</sup> /hab)	+/-	+	-	-	-	-	-	+
Moyenne (de 3 à 5 m <sup>2</sup> /hab)	+	+	+/-	+/-	-	+/-	+/-	+
Importante (> 5 m <sup>2</sup> /hab)	+	+	+	+	+	+	+	+
<b>Type de collecte des eaux usées</b>								
Collecte séparative décantée	+	-	+	+	+	+	+	-
Collecte séparative simplifiée	+	+	+	+	+	+	+	+
Collecte séparative	+	+	+	+	+	+	+	+
Collecte pseudo-séparative décantée	+/-	-	+	+/-	+/-	+/-	+/-	-



Collecte pseudo-séparative simplifiée	+/-	+	+	+/-	+/-	+/-	+/-	+	
Collecte pseudo-séparative	+/-	+	+	+/-	+/-	+/-	+/-	+	
Collecte unitaire	-	+	+/-	-	-	-	-	+/-	
<b>Compétences en électro-mécanique</b>									
Compétences mobilisables	difficilement	+	+/-	+	+	+/-	+	+/-	-
<b>Milieu récepteur</b>									
Réutilisation agricole de type C	+	+	+	-	-	-	+	+	
Réutilisation agricole de type B	-	+/-	-	-	-	-	+/-	-	
Réutilisation agricole de type A	-	-	-	-	-	-	+/-	-	
Voie d'eau de surface permanente	+	+	-	-	-	-	+	+	
Voie d'eau de surface temporaire	-	+	-	-	-	-	+	+	
sol	-	+/-	+	+	+	+	+	+/-	

**Tableau 1 : adéquation des solutions d'épuration aux contraintes de terrain**

Ce tableau permet de guider l'analyse mais ne constitue pas une grille d'exclusion ou de choix d'une solution vis à vis des autres. En effet, moyennant certaines modifications, la plupart des techniques envisagées peuvent, moyennant certaines adaptations, être utilisées là où, a priori, elles ne semblent pas les mieux adaptées.

### 3 Aspects économiques

Les analyses économiques, sur la base des travaux d'un manuel technique doivent être considérées avec prudence. En effet, l'estimation et la comparaison économique des solutions d'épuration sur la base des calculs des dimensions et de prix moyens des travaux à réaliser ne tient pas compte des conditions réelles du marché ni de l'impact des contraintes de terrain sur les prix. Néanmoins, une analyse sommaire permet d'identifier de grandes tendances et l'orientation des investigations complémentaires permettant d'arrêter les solutions appropriées.

Le **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** présente les principaux critères pouvant avoir un impact significatif sur les coûts d'implantation et d'exploitation. Aussi l'analyse réalisée dans le cadre de ce manuel technique se limite à évaluer le coût des solutions les plus appropriées dans les conditions qui leur sont les plus favorables pour une localité de 500 habitants produisant une charge biologique de 30 g/hab.j et un débit de 60 l/hab.j.



Pour chaque cas, les conditions de terrain et des dimensions sont rappelées. Parmi les techniques d'épuration par le sol, seul le lit d'infiltration est repris dans la comparaison du fait de son moindre coût.

### **3.1 Conditions d'implantation du réacteur anaérobie compartimenté envisagées dans la simulation économique**

Les conditions de terrain idéales sont les suivantes :

- réseau séparatif décanté ;
- sol meuble sur plus de 3 mètres de profondeur ;
- pente de 1 à 3 % ;
- station d'épuration implantée en fin de réseau de collecte ;
- pas de problème à évacuer l'eau épurée ;
- une fosse septique pour 10 habitants (2 ménages) disposant d'une capacité de stockage des boues de 18 mois (vidanges annuelles) ;
- 100 m<sup>2</sup> disponibles pour implanter les ouvrages ;
- pas de risques de nuisances du fait d'un rejet septique.

### **3.2 Conditions d'implantation du filtre à sable avec recirculation envisagées dans la simulation économique**

Les conditions de terrain idéales sont les suivantes :

- réseau simplifié avec un filtre pour 10 habitants;
- pente de 1 à 5 % ;
- sol imperméable ( $10^{-8}$  m/s)
- sol meuble sur plus de 3 mètres de profondeur ;
- sable de filtration disponible sur place (après lavage et criblage) ;
- station d'épuration implantée en fin de réseau de collecte ;
- alimentation électrique aisée ;
- un décanteur-digesteur pour toute la population ;
- 500 m<sup>2</sup> disponibles pour implanter l'ouvrage.



### **3.3 Conditions d'implantation du filtre planté horizontal envisagées dans la simulation économique**

Les conditions de terrain idéales sont les suivantes :

- réseau séparatif décanté ;
- sol meuble sur 1 mètre de profondeur ;
- pente de 1 à 2 % ;
- sol imperméable ( $10^{-8}$  m/s)
- station d'épuration implantée en fin de réseau de collecte ;
- pas de problème à évacuer l'eau épurée ;
- une fosse septique pour 10 habitants (2 ménages) disposant d'une capacité de stockage des boues de 18 mois (vidanges annuelles) ;
- 1300 m<sup>2</sup> disponibles pour implanter l'ouvrage.

### **3.4 Conditions d'implantation des lits d'infiltration envisagées dans la simulation économique**

Les conditions de terrain idéales sont les suivantes :

- réseau séparatif décanté ;
- sol meuble sur plus de 2 mètres de profondeur ;
- sol perméable ( $> 100$  mm/h) ;
- pente de 1 à 2 % ;
- station d'épuration implantée en fin de réseau de collecte ;
- pas de problème à évacuer l'eau épurée ;
- une fosse septique pour 10 habitants (2 ménages) disposant d'une capacité de stockage des boues de 18 mois (vidanges annuelles) ;
- 3000 m<sup>2</sup> disponibles pour implanter les ouvrages.

Sur base de ces conditions d'implantation les coûts suivants on pu être établis.



Postes	Unité	Prix unitaire	Filtre à sable à recirculation avec décanteur-digesteur et filtres pour réseau simplifié		Filtre planté avec 1 fosse septique pour deux familles		Réacteur anaérobie et 1 fosse septique pour 2 familles		5 lits d'infiltrations implantés à différents endroits et 1 FS pour 50 personnes	
			Quantités	Total	Quantités	Total	Quantités	Total	Quantités	Total
Déblai	m <sup>2</sup>	40	80	3.200	300	12.000	45	1.800	1200	48.000
Remblai	m <sup>3</sup>	40		-		-		-		-
Béton à 250 kg/m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	800	55	44.000	7	5.600	13	10.400		-
Béton de propreté	m <sup>3</sup>	600	20	12.000	2	1.200	2	1.200		-
Tampons et cadres 60*60 cm en Béton	pcs	200	5	1.000		-	10	2.000	15	3.000
filtre 10 personnes pour réseau simplifié	pcs	150	50	7.500		-		-		-
fosse septique 10 personnes	pcs	4.000			50	200.000	50	200.000		-
Fosse septique 50 personnes	pcs	14.000							10	140.000
Boîte de répartition de 4 sorties	pcs	150		-		-		-	15	2.250
Conduites PVC non perforées Ø 200 mm	ml	160	30	4.800	50	8.000	15	2.400		-
Conduites PVC non perforées Ø 125 mm	ml	120		-		-		-	20	2.400
Conduites PVC perforées Ø 100 mm	ml	120	480	57.600		-		-	1120	134.400
extracteur éolien	pcs	250	1	250		-	2	500		-
Boîtes de bouclage	pcs	100		-		-		-	40	4.000
Géotextile anti-contaminant supérieur	m <sup>2</sup>	20		-		-		-	1220	24.400
Géomembrane	m <sup>2</sup>	50		-	100	5.000		-		-
gravier fin lavé	m <sup>3</sup>	60		-	270	16.200		-		-
Gravier dispersant	m <sup>3</sup>	50	100	5.000		-		-	565	28.250
Sable	m <sup>3</sup>	80	240	19.200		-		-		-
Plants de roseaux	pcs	4		-	2160	8.640		-		-
Pompe de relevage 2l/s	pcs	5000	2	10.000		-		-		-
Automate programmable	pcs	15000	1	15.000		-		-		-
Electrovanne 1'	pcs	1500	7	10.500		-		-		-
Alimentation électrique	pcs	15000	1	15.000		-		-		-
Siphon doseur (3-6 m <sup>3</sup> /j)	pcs	3500		-		-		-	5	17.500
Investissement du système complet de 'épuracion			205.050 Dhs		256.640 Dhs		218.300 Dhs		404.200 Dhs	
Investissement par habitant du système complet de 'épuracion			410 Dhs/hab		513 Dhs/hab		437 Dhs/hab		808 Dhs/hab	
Investissement de la partie collective du système de 'épuracion			197.550 Dhs		56.640 Dhs		18.300 Dhs		264.200 Dhs	
Investissement/hab de la partie collective du système de 'épuracion			395 Dhs/hab		113 Dhs/hab		37 Dhs/hab		528 Dhs/hab	

**Tableau 2 : comparaison des solutions adaptées aux collectivités rurales**



A l'analyse du Tableau 2, on constate que la stratégie d'intervention dans l'assainissement des petites collectivités a un impact sur le choix des techniques les plus appropriées. En effet, si la réalisation des ouvrages à implanter dans le domaine privé (fosses septiques et filtres pour réseau simplifié) sont à charge de l'utilisateur, les réacteurs anaérobies compartimentés et les filtres plantés horizontaux sont plus intéressants que les filtres à sable. Dans le cas d'un financement complet de tous les ouvrages, la situation s'inverse.

Dans le cas du non financement des fosses septiques, les réacteurs anaérobies compartimentés sont sensiblement plus intéressants que les filtres plantés mais cette différence doit être relativisée pour les raisons suivantes :

- les performances d'épuration de ces réacteurs anaérobies sont moins bien connues que celles des filtres plantés et l'impact de la température et de la charge de l'effluent sur les rendements d'épuration ne sont pas définis ;
- l'eau traitée par les filtres anaérobies reste septique et il ne faut pas s'attendre à une réduction significative des pathogènes et de ce fait, ne pas nécessairement répondre aux objectifs stratégiques de l'assainissement des collectivités rurales ;
- l'eau épurée devrait répondre aux valeurs limites pour les rejets directs (100 mg/l de DBO<sub>5</sub>) mais pourrait toujours produire certaines nuisances du fait de sa septicité ;

Les techniques d'épuration par le sol (lit d'infiltration) semblent plus coûteuses que les autres techniques. Cela vient principalement du fait, qu'étant complètement enterrés et donc impossibles à suivre et à maintenir aisément, elles sont surdimensionnées par rapport aux autres techniques. Néanmoins, elles conservent leur intérêt pour de très petites installations ou pour des sites qui conservent une affectation paysagère ou lucrative (un jardin, un parc, ...). Elles semblent donc plus appropriées aux zones urbaines qui ne disposent pas du service public d'assainissement ou à des groupements d'habitations qui ne disposent pas d'une voie d'eau de surface et pour lequel le transport des eaux par pompage s'avère inapproprié (quartier enclavé dans une dépression par exemple).

Enfin, en fonction des potentialités du site, ces coûts peuvent encore être réduits, par exemple en enterrant les filtres à sable, sans étanchéification du fond et des parois (uniquement utilisation d'un géotextile anti-contaminant au niveau du filtre) pour autant que la perméabilité du sol et la topographie le permettent. Cette potentialité permettrait de réduire les coûts d'investissement de 10 à 20 %.

Tous ces systèmes ne consomment pas d'énergie, à l'exception des filtres à sable avec recirculation (dont la consommation électrique est estimée à 5250 kWh/an) pour



autant que la configuration topographique le permette. La comparaison des coûts d'exploitation est totalement liée aux contraintes de terrain et ne peut être estimée dans le cadre de ce manuel. Il est cependant utopique d'imaginer le fonctionnement de ces installations sans visites régulières (très certainement hebdomadaires). Généralement, la surveillance de ces installations est assurée par des équipes mobiles, gérant plusieurs installations sur un territoire donné et/ou par télésurveillance. Les techniques de communication et les outils d'imagerie numérique permettent aujourd'hui d'envisager une maintenance locale par du personnel non spécialisé qui serait encadré à partir d'une direction régionale ou sous-régionale qui recevrait régulièrement des images des ouvrages et équipements dont il faut assurer la maintenance.

Dans le cas des filtres plantés, la production de roseaux présente un intérêt commercial car les espèces adaptées sont également utilisées en vannerie et pour la construction des murs en pisé. L'intérêt « agricole » du filtre planté peut également contribuer à son suivi et son entretien.

Enfin, les coûts d'investissement sont relativement faibles, certainement de 600 à 1.000 Dhs/hab pour tous les ouvrages d'assainissement, y compris la collecte, soit, pour des collectivités ne dépassant pas 1.000 habitants, des investissements inférieurs à 1 Mio Dhs. Si on considère un ratio classique d'études d'APS et d'APD correspondant à 10 à 20 % de l'investissement, ces études ne devraient pas coûter plus de 100.000 à 200.000 Dhs (ce qui correspond au prix d'une étude d'impact). Or le choix des techniques, leur dimensionnement, les relevés de terrain, ...restent complexes. C'est pourquoi la réduction des coûts d'étude nécessitera très certainement :

- des appels d'offres par lots de plusieurs collectivités d'une même zone territoriale ;
- une méthodologie d'étude définie par le maître d'ouvrage et pour laquelle les calculs de dimensionnement, les plans types et les spécifications techniques des ouvrages sont déjà définis, l'étude se limitant à les adapter aux contraintes locales ;
- le choix de solutions les moins dépendantes de relevés de terrain détaillés ;
- le choix de solutions aisément réalisables par de petites entreprises locales et dont le suivi de chantier n'est pas trop contraignant.

Afin de rester dans des coûts d'études acceptables tout en maintenant un niveau de qualité satisfaisant, il serait souhaitable de tester l'efficacité de nouvelles méthodologies, faisant appel aux systèmes d'information géographiques, à des



---

relevés de terrain par les techniques de GPS et à des outils de calculs directement fournis et validés par le maître d'ouvrage.



# CHAPITRE 1 : SPÉCIFICITÉS DE L'ASSAINISSEMENT DES PETITES COLLECTIVITÉS RURALES

## 1 Typologie des eaux rejetées

### 1.1 Typologie des eaux usées domestiques rurales

La typologie des eaux usées domestiques des localités rurales semble fort variable et peu connue du fait de l'absence de réseau d'assainissement permettant des campagnes de caractérisation représentatives.

Selon les mesures réalisées par l'ONEP, la DBO<sub>5</sub> oscille entre 20 et 60 g/hab.j pour des débits de rejet oscillant entre 20 et 80 l/hab.j.

Cette très forte variabilité des rejets ne permet pas un dimensionnement « à priori » aisé et définitif des ouvrages d'épuration.

Cependant, certains paramètres doivent guider le concepteur dans ses choix, à savoir :

- Les eaux vannes représentent une production d'environ 10 g/hab.j de DBO<sub>5</sub> ;
- les eaux grises représentent une production oscillant entre 20 et 50 g/hab.j de DBO<sub>5</sub> ;
- il est dangereux de lier la charge polluante au niveau de revenu des populations assainies, la préparation des repas à partir d'aliments frais génère une charge organique importante ;
- les débits rejetés en milieu rural ne sont pas nécessairement liés à la consommation en eau potable, des sources d'eau alternatives sont fréquemment utilisées pour diverses tâches domestiques et pour les soins corporels ;
- le débit rejeté reste généralement plus faible par rapport aux centres urbains, des concentrations très élevées ont été déjà constatées (plus de 1.000 mg/l de DBO<sub>5</sub> dans certains cas).

## 2 Valeurs limites de rejet

Actuellement, le Maroc ne dispose pas de valeurs limites de rejet officielles, à l'exception des normes d'utilisation des eaux usées pour l'irrigation (qui peut être considérée comme une norme de rejet des stations d'épuration qui rejetteraient leurs eaux épurées sur des parcelles irriguées ou dans des systèmes d'irrigation).



Cependant, comme la valeur limite de rejet conditionne les processus d'épuration, voire de collecte des eaux usées ; il est nécessaire d'en préciser les tendances.

La Figure 1 présente les principaux milieux récepteurs disponibles au niveau des zones rurales (qui ne sont pas en bordure de mer), classés par ordre croissant d'exigences.



Type de rejet

Éléments conditionnant le traitement nécessaire pour le type de rejet envisagé

Type de rejet	Rejet dans le sol	Réutilisation agricole de type C <sup>(1)</sup>	Rejet dans une voie d'eau de surface	Rejet dans un plan d'eau fermé <sup>(2)</sup>	Réutilisation agricole de type B <sup>(1)</sup>	Réutilisation agricole de type A <sup>(1)</sup>
Éléments conditionnant le traitement nécessaire pour le type de rejet envisagé	<ul style="list-style-type: none"><li>• Eau ayant subi une décantation</li><li>• Sol disposant d'une perméabilité supérieure à 15 mm/heure</li><li>• Surface d'infiltration suffisante</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Eau ayant subi une décantation</li><li>• Cultures céréalières, industrielles, fourragères, pâturages, plantations d'arbres</li><li>• Irrigation localisée sans exposition du personnel</li><li>• Eau usée domestique pauvre en azote<sup>(3)</sup></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Eau ayant subi une épuration biologique</li><li>• Moins de 100mg/l de DBO<sub>5</sub></li><li>• Eau peu odorante ou dilution dans un débit important</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Eau ayant subi une épuration biologique et une dénitrification</li><li>• Moins de 100mg/l de DBO<sub>5</sub>, voire moins de 30 mg/l de DBO<sub>5</sub></li><li>• Eau peu odorante</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Eau ayant subi une épuration et l'élimination des helminthes</li><li>• Cultures céréalières, industrielles et fourragères, pâturages et plantations d'arbres</li><li>• Eau usée domestique pauvre en azote ou diluée par d'autres eaux d'irrigation<sup>(3)</sup></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Eau ayant subi une épuration et l'élimination des helminthes et des coliformes fécaux (&lt;1000/100 ml ou &lt;200/100 ml si pelouses accessibles au public)</li><li>• Jardins publics, terrains de sports, cultures destinées à être consommées crues</li><li>• Eau usée domestique pauvre en azote<sup>(3)</sup>.</li></ul>

(1) : Bulletin officiel n° 5062 du 5/12/2002

(2) : sur base des pratiques dans les pays où ces **normes existent**

(3) : principalement s'il s'agit de la seule source d'eau d'irrigation

**Figure 1 : inventaire des milieux récepteurs pour le rejet des eaux usées épurées des collectivités rurales**



### 3 Eléments des systèmes d'épuration adaptés aux petites collectivités

Il est souvent possible de découper un système d'épuration en une série d'opérations unitaires qui n'ont pas toutes le même rôle ou la même importance selon le procédé retenu. En fonction du milieu récepteur envisagé, il est parfois possible d'éviter certaines étapes d'épuration ou, au contraire, celles-ci doivent être complétées par des 'épurations complémentaires.

Les opérations unitaires sont au nombre de 4 :

- le prétraitement ;
- le traitement primaire ;
- le traitement secondaire ;
- la clarification avant rejet ;

**Le prétraitement** consiste à éliminer les particules transportées dans l'eau usée, dont la nature ou la taille risque de nuire au fonctionnement des installations d'épuration. Les solutions les plus couramment retenues sont les dégrilleurs ou les tamis rotatif. Ces équipements doivent être nettoyés très régulièrement (souvent plusieurs fois par jour) soit manuellement (pour de petites installations) soit automatiquement (souvent à l'aide de racleurs).

Dans le cas de petits systèmes d'épuration, les conduites, pompes et orifices peuvent facilement être colmatés ou bloqués par des objets de taille importante (de quelques centimètres à quelques dizaines de cm). Une attention spécifique doit être accordée à cette contrainte de fonctionnement, particulièrement dans le cas de systèmes peu visités et peu surveillés.

**Le traitement primaire** consiste à éliminer les matières en suspension facilement décantables. Cette opération consiste à imposer à l'eau des vitesses d'écoulement uniformes, régulières et faibles, à récupérer l'eau clarifiée et à stocker en fond de cuve les matières sédimentées (boues). Celles-ci sont composées d'une fraction minérale mais également organique qui va fermenter, de façon anaérobie, en fond de cuve. Cette fermentation va permettre de réduire leur masse. Au terme de la fermentation (qui peut durer de plusieurs semaines à plusieurs mois), ces matières sont stabilisées (minéralisées) et doivent être éliminées en tant que déchet solide. Des lames pare-écume ou des systèmes équivalents sont également conseillés afin de retenir les corps flottants au début du système de 'épuration.

**Le traitement secondaire** consiste à transformer les matières organiques difficilement décantables ou dissoutes en une matière aisément décantable ou



immobilisée sur un support fixe au sein du système d'épuration. Dans le cas des eaux domestiques résiduelles, les bactéries naturellement contenues dans ce eaux assurent ce rôle en se nourrissant de la matière organique contenue dans l'eau et en se regroupant sous forme d'amas (bactéries floculées) dont la décantation est plus aisée et/ou en se fixant sur un support artificiel immobile.

**La clarification** avant rejet permet de séparer ces bactéries (floculées ou en amas) de l'eau qui est ensuite rejetée. Des lames pare-écume ou des systèmes équivalents sont également conseillées afin de retenir les boues flottantes dans la zone de clarification. Les boues ainsi recueillies doivent être rapidement (dans la journée) pompées vers leur cuve de stockage (très souvent le décanteur primaire) afin d'éviter tout fermentation et remise en suspension dans l'eau clarifiée de substance provenant de ces boues.

Dans le cas de bactéries immobilisées sur un support fixé, la clarification n'est pas nécessaire.

L'importance de ces différentes étapes dépend de la nature du milieu récepteur, des caractéristiques des eaux à dépolluer (particulièrement des concentrations en DBO<sub>5</sub>), du procédé retenu et de la taille de la collectivité.

## **4 Classification des systèmes d'assainissement adaptés aux petites collectivités**

Les systèmes d'épuration pour les rejets des petites collectivités sont nombreux et de dénomination très variée. Souvent, ils sont vendus « clé en main » par le fabricant qui propose différents modèles en fonction de la charge à traiter et assure le dimensionnement de ses ouvrages dans le cadre de leur fourniture.

Cette situation conduit à peu de clarté sur les principes fondamentaux, les paramètres et les valeurs de dimensionnement des ouvrages constitutifs de ces solutions.

Afin de guider le lecteur dans sa compréhension des différentes solutions présentées dans ce manuel, les systèmes d'épuration ont été classés en 5 grands types :

- les systèmes extensifs à biomasse libre ;
- les systèmes extensifs à biomasse fixée ;
- les systèmes intensifs à biomasse libre ;
- les systèmes intensifs à biomasse fixée ;
- les systèmes d'épuration par le sol.



Pour chaque famille de système d'épuration, le manuel présente les dénominations les plus fréquemment utilisées ainsi qu'une présentation synthétique des différentes étapes d'épuration.

Bien qu'il n'existe pas de distinction stricte entre les systèmes intensifs et extensifs, on peut considérer que les solutions occupant moins d'un mètre carré par habitant sont classés dans les systèmes intensifs et celles qui imposent plus d'un mètre carré par habitant sont de type extensif.

Un chapitre est consacré à la présentation du prétraitement et du traitement primaire qui diffèrent sensiblement des solutions utilisées pour des unités de plus grande taille.



## CHAPITRE 2 : PRÉTRAITEMENT ET TRAITEMENT PRIMAIRE

### 1 Rôle

Contrairement aux grandes unités d'épuration, le dégrillage est très rarement utilisé pour des raisons de maintenance ; par contre, la décantation primaire joue un rôle important dans les petites unités afin de protéger:

- les équipements (pompes, aérateurs, agitateurs dans le cas des systèmes intensifs) ;
- les systèmes des risques de colmatage des matériaux filtrants.

Deux solutions de décantation primaire sont utilisées généralement pour l'épuration des effluents de petites collectivités :

- le décanteur / digesteur (fosse Imhoff).
- la fosse septique ;

Les deux systèmes permettent le stockage et la minéralisation de la matière sédimentée mais le décanteur / digesteur limite le temps de séjour de l'eau entre 30 minutes et 2 heures alors que dans le cas des fosses septiques, il est de plusieurs jours ; avec des vitesses ascensionnelles de l'eau comprises entre 2 et 2,5 m/h.

Le débit à prendre en considération est le débit de pointe  $Q_p$  qui se détermine habituellement par la relation :

$$Q_p = C_p Q_m ; \text{ avec } C_p = 1,5 + (2,5 / (\sqrt{Q_m})), \text{ } Q_m \text{ étant exprimé en l/s.}$$

### 2 Dégrillage

Le système de dégrillage se définit par la taille des mailles ou l'espace entre 2 barreaux, il est généralement d'environ 2 cm.

Le dégrilleur peut être mécanisé afin d'évacuer périodiquement les objets retenus au niveau de la grille, afin d'éviter une obstruction de l'alimentation de la station ou rester manuel dans le cas de petites installations.

Le dégrillage est rarement utilisé dans les petites stations d'épuration car son fonctionnement exige des systèmes automatiques de nettoyage ou des entretiens manuels réguliers peu compatibles avec les niveaux d'investissement et de surveillance envisagés pour ce type d'installations.

Des essais, à l'aide de petits tamis rotatifs ont également démontré le très faible impact de ces équipements sur le rabattement de la pollution.



Généralement, le choix du type de réseau (décanté ou simplifié) et l'utilisation de décanteurs primaires (fosse septique ou fosse Imhoff) conduisent également à l'abandon de dégrilleurs qui s'avèrent alors inutiles.

### 3 Fosse Imhoff

Comme les matières décantables contiennent de fortes proportions de matières organiques (généralement de l'ordre de 55 à 65%), celles-ci se mettent à fermenter durant leur stockage. Afin d'éviter que les boues mise en suspension par le dégagement de biogaz (méthane + CO<sub>2</sub>), ne contaminent l'eau décantée ; ces décanteurs disposent de deux chambres, l'une pour la décantation proprement dite et l'autre pour le stockage des matières décantée. Chacune de ces deux chambres présentent une géométrie permettant d'éviter la contamination de l'eau clarifiée par les particules mises en suspension par la biométhanisation. Ces deux chambres peuvent être séparées ou regroupées au sein d'un seul ouvrage.

Dans le cas des petites collectivités, ces deux chambres sont regroupées.

### 3.1 Présentation de la fosse Imhoff

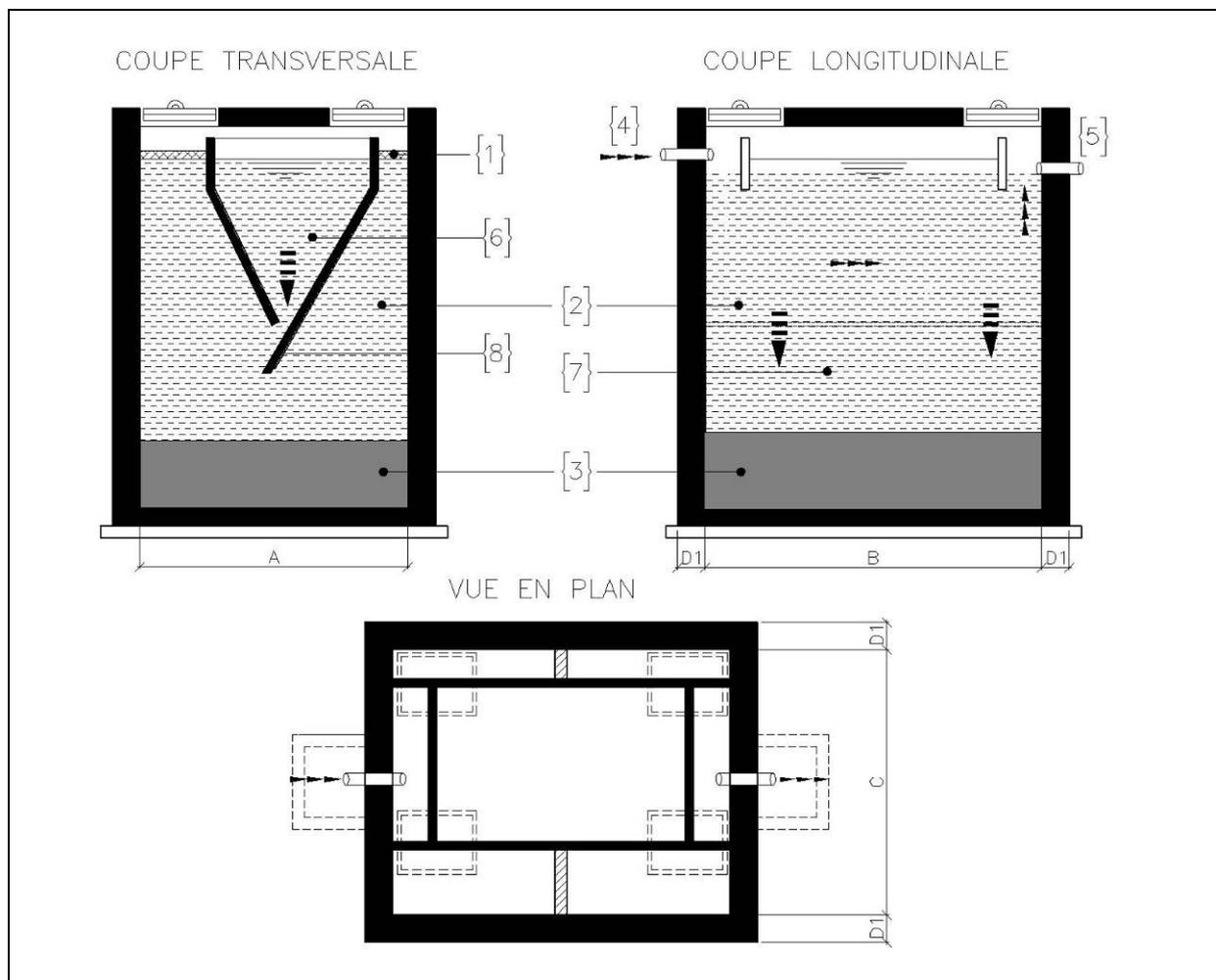


Figure 2 : Illustration de la fosse Imhoff

L'eau usée entre dans la partie centrale {4}, par une extrémité et ressort par l'autre {5}. Elle séjourne dans le compartiment de décantation où les matières décantables se séparent du flux d'eau {7} pour s'accumuler dans la zone de stockage {3} et de minéralisation des boues qui ne peuvent être remises en suspension (par le biogaz) dans la zone de décantation, du fait de la forme du déflecteur {8}. Si le niveau des boues remonte au delà du point inférieur du déflecteur (niveau {2}), des boues partiellement minéralisées seront remises en suspension dans la zone de décantation, réduisant le décanteur à une fosse septique mal dimensionnée. Une croûte se forme également à la partie supérieure {1} qui sera enlevée lors de la vidange des boues {3}.

Le temps de séjour de l'eau étant réduit, la charge organique contenue dans l'eau décantée reste « fraîche » et peu odorante, ce qui réduit les risques de production de mauvaises odeurs dans les procédés aérobies qui suivent le traitement primaire.



### 3.2 Principe de dimensionnement de la fosse Imhoff

Généralement, les fosses Imhoff s'utilisent pour des débits supérieurs à 3 m<sup>3</sup>/j.

Dans les conditions de décantation, le temps de rétention, pour les débits de pointe Q<sub>p</sub> ne dépassent pas environ deux (2) heures et la charge hydraulique ne peut dépasser environ 1,5 m/h.

La forme extérieure de la fosse peut être cylindrique mais le compartiment de décantation reste toujours rectangulaire. Les parties à l'extérieur du compartiment de décantation doivent rester accessibles afin de pouvoir y enlever les corps flottants qui s'y accumulent.

La fréquence de vidange est annuelle, semestrielle ou trimestrielle, en fonction des solutions de vidange adoptées (un soutirage des boues par gravité permet généralement d'opter pour des vidanges plus fréquentes que des vidanges par pompage).

En envisageant des vidanges semestrielles ou annuelles (une durée de stockage de 6 mois reste recommandée pour assurer une stabilisation à froid des boues), le volume de stockage des boues est généralement de 5l de boues par kg de DBO<sub>5</sub> éliminée (le rabattement de la DBO<sub>5</sub> avoisine généralement les 30%),

### 3.3 Exemple de calcul

Soit une collectivité de 500 habitants produisant un rejet de 60 l/hab/j et une DBO<sub>5</sub> de 30 g /hab/j.

$$\begin{aligned} 1. \text{ Calcul du débit de pointe : } Q_p &= 1,5 + \frac{2,5}{\sqrt{Q_p}} \\ &= 1,5 + \frac{2,5}{\sqrt{(500 \times 60)/86.400}} \\ &\cong 1,5 + 2,5 / 0,6 \cong 3 \text{ l/s.} \end{aligned}$$

2. Calcul de la chambre de décantation :

- Selon le temps maximum de séjour : V max = 3 l/s x 3.600 s/H x 2h = 7,200m<sup>3</sup>.
- Selon la charge hydraulique max (1,5 m<sup>3</sup>/h par m<sup>2</sup> de surface) :

$$S \text{ min} = \frac{3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} \times 3.600 \text{ s}}{1,5 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2} = \frac{10,8 \text{ m}^3}{1,5 \text{ m}} = 7,2 \text{ m}^2$$

Volume de stockage des boues :

$$500 \text{ hab.} \cdot 0,030 \text{ kg/hab.j de DBO}_5 \cdot 30\% \cdot 5 \text{ l/kg de DBO}_5 \cdot 180 \text{ j} = 4,05 \text{ m}^3$$

### 3.4 Plan type de la fosse Imhoff

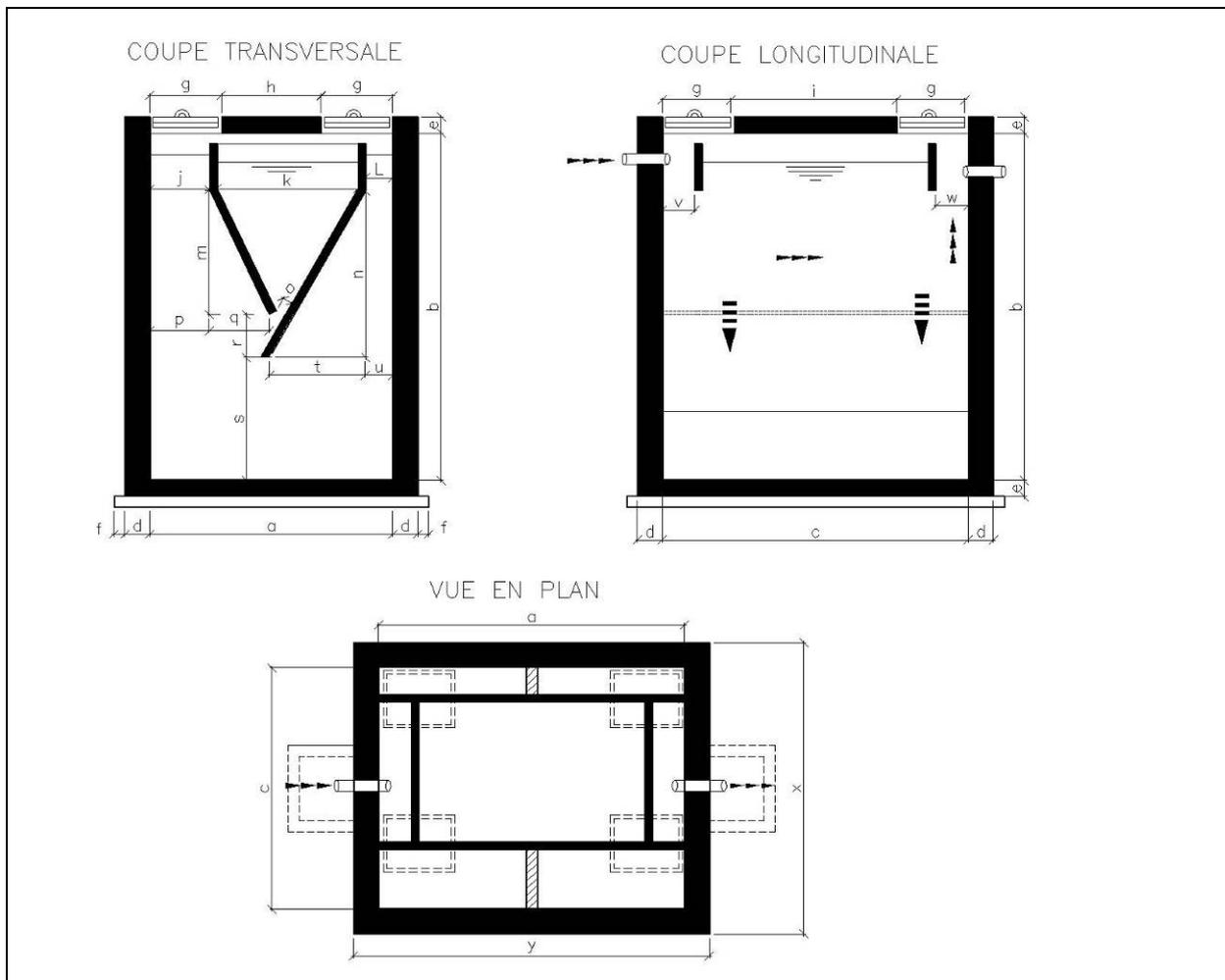


Figure 3 : plan type de la fosse Imhoff

## 4 Fosse septique

### 4.1 Présentation de la fosse septique

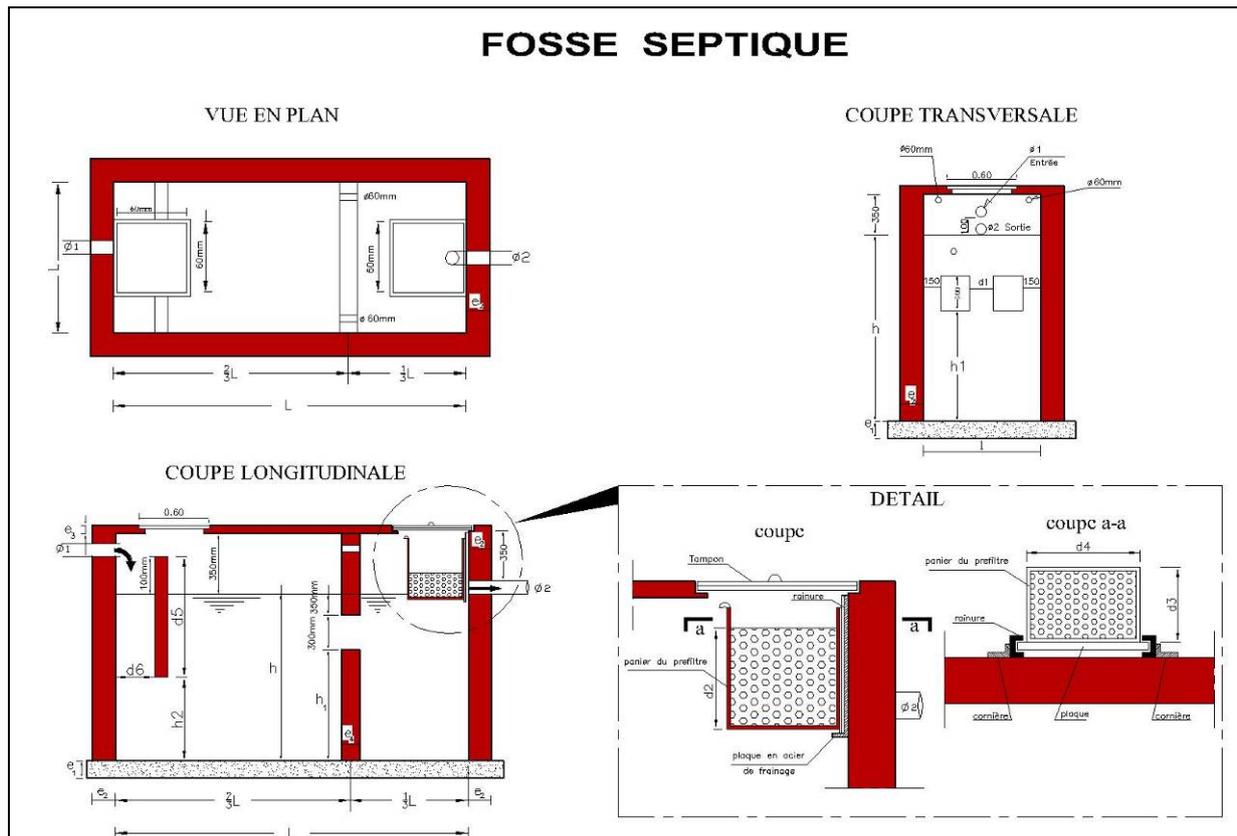
La fosse septique assure la sédimentation et la liquéfaction de la charge polluante contenue dans les eaux usées. Le rabattement de la  $DBO_5$  est d'environ 40% et est principalement dû à la sédimentation, c'est pourquoi la fosse septique est dimensionnée en fonction de la charge hydraulique et de l'intervalle entre deux curages des boues sédimentées.

La vidange de boues flottante est à réaliser environ tous les deux ans. Elle ne nécessite pas de matériel particulier et peut être exécutée par l'utilisateur. Ces boues fort sèches et peu odorantes peuvent ensuite être évacuées avec les déchets solides de l'habitation.

La vidange des boues sédimentées est à réaliser tous les 3 à 5 ans. Plus la capacité de stockage est importante, plus les boues sont minéralisées et l'espacement entre les vidanges est important.

La vidange nécessite l'intervention d'un camion citerne équipé de pompes (hydro cureuse).

## 4.2 Plan d'une fosse septique



1.

L	Longueur du volume noyé	$d_3$	Profondeur du préfiltre
l	Largeur du volume noyé	$d_4$	Largeur du préfiltre
h	Hauteur du volume noyé	$d_5$	Variable en fonction de la profondeur de la zone perméable (min $1\text{m}^2/\text{habitant}$ ).
$h_1$	Hauteur du muret de retenue des boues = $h - 650\text{ mm}$	$e_1$	Epaisseur de la dalle de la fosse septique
$h_2$	Hauteur du point bas de la cloison siphonoïde = $h_1 - 100\text{ mm}$	$e_2$	Epaisseur des cloisons de la fosse septique
$d_1$	Distance séparant les deux ouvertures immergées de la cloison intérieure	$e_3$	Epaisseur du couvercle de la fosse septique



d <sub>2</sub>	Hauteur immergée du préfiltre		
----------------	-------------------------------	--	--

Figure 4 : plans d'une fosse septique

### 4.3 Principes de dimensionnement de la fosse septique

Une fosse septique se dimensionne en intégrant cinq contraintes :

- un temps de séjour minimum de 3 à 4 jours ;
- une capacité de stockage des boues variant de 3 à 5 ans en fonction d'un optimum économique ;
- un volume de boue, avant vidange, ne dépassant pas 50% du volume immergé ;
- un rapport de longueur/largeur compris entre 2 et 3 ;
- une hauteur du volume immergé comprise entre 1,5 et 3m.

D'une manière générale, une fois que la fosse septique concerne plus de 20 habitants, il est préférable de prendre un intervalle de vidange de 3 ans. Par contre, pour des fosses septiques de 5 personnes, l'intervalle de vidange sera de 5 ans. Une estimation des deux coûts d'investissement, comparés à l'économie induite par l'espacement des vidanges peut également conduire le choix de l'intervalle de vidange.

### 4.4 Consignes d'implantation de la fosse septique

La fosse septique est à implanter à proximité de l'habitation afin de ne pas trop l'enterrer tout en maintenant une pente de 2 à 4% pour les conduites acheminant les eaux usées à la fosse septique.

Si la fosse doit être enterrée plus en profondeur, la hauteur de la zone non noyée peut être augmentée afin de maintenir les regards au niveau du terrain naturel.

### 4.5 Préfiltre

Le préfiltre est un équipement complémentaire de protection des systèmes d'épandage à faible profondeur. Il peut être immergé dans le deuxième compartiment de la fosse septique ou juste après la fosse septique. Il limite ainsi les risques de colmatage en retenant les particules solides qui peuvent s'échapper de la fosse septique (cotons tiges, éléments plastiques, ...).

Le préfiltre est constitué d'une chambre étanche contenant du gravier fin (par exemple 5-10mm de granulométrie) au travers duquel l'eau est filtrée. Il peut également être installé en sortie de fosse septique et utiliser le même type de gravier. L'efficacité de ces préfiltres dépend du suivi visuel et du lavage régulier du gravier.



Dans le cas de préfiltres installés en sortie de fosse septique, un nettoyage tous les 6 mois est conseillé durant les premières années. Ensuite, en fonction du colmatage constaté, la fréquence des entretiens peut être revue.

La surface filtrante sera d'au moins  $0,05\text{m}^2/\text{hab}$  avec un minimum de  $0,35\text{m}^2$ . Dans le cas de préfiltres immergés, quatre faces du panier sont en contact avec l'eau tandis que dans le cas d'une cuve placée après la fosse septique, seule la face à l'air libre peut assurer la filtration.

Le préfiltre immergé représente donc la solution la plus compacte.

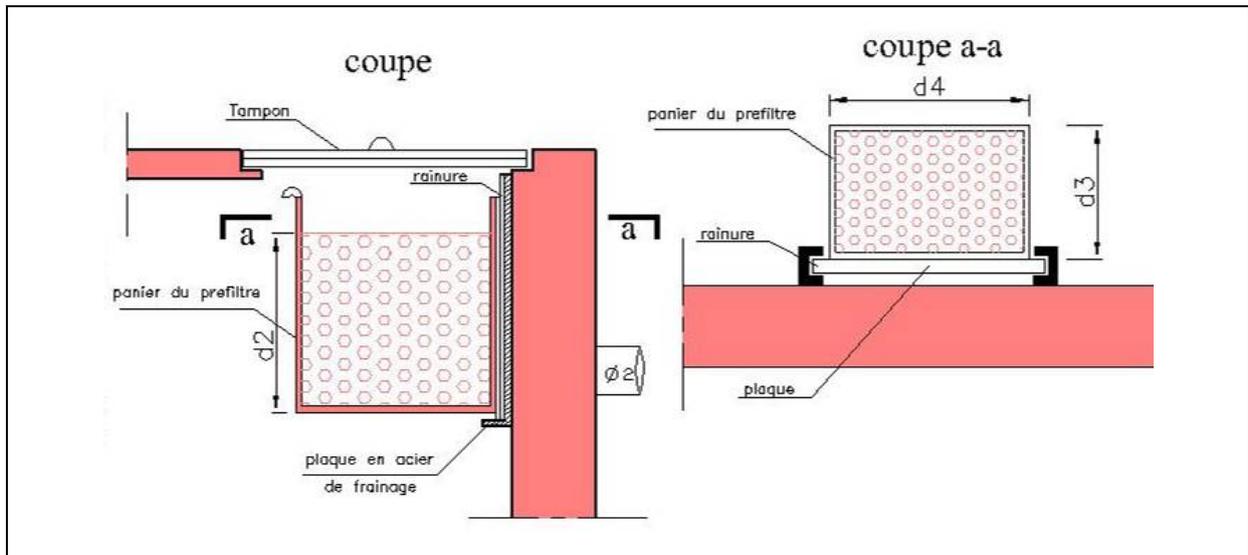
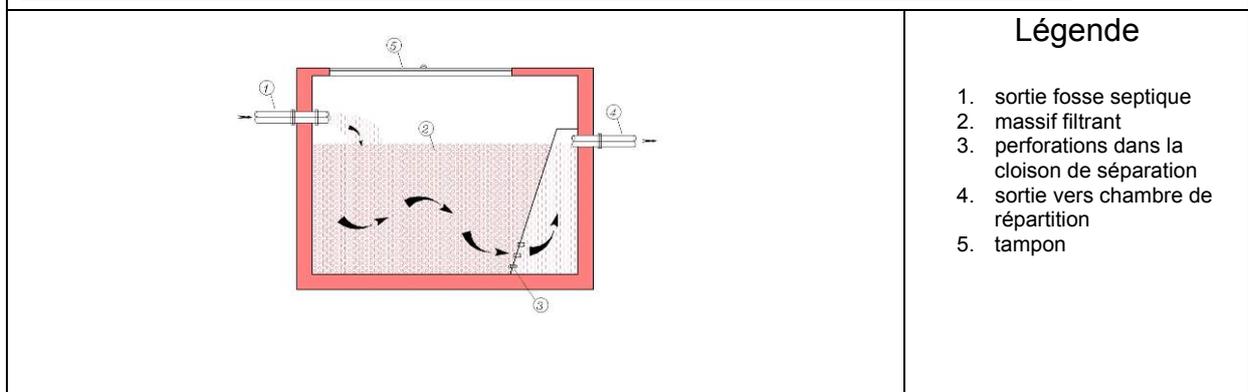


Tableau 1 : dimensions des préfiltres intégrés à la fosse septique		
d2	min 40 cm	Plaque : prévoir une épaisseur suffisante (3 mm min) en forme de cadre sur lequel on fixe le treillis assurant le retenue du gravier fin
d3	min 40 cm	$\varnothing_2$ = sortie de fosse septique
d4	min 40 cm	



**Légende**

1. sortie fosse septique
2. massif filtrant
3. perforations dans la cloison de séparation
4. sortie vers chambre de répartition
5. tampon

Tableau 2 : dimensions des préfiltres extérieurs à la fosse septique	
d1	Min 10 cm
d2	Min 15 cm
d3	Min 30 cm
d4	Min 3 cm

Figure 5 : plans de préfiltres de fosse septique



#### 4.6 Exemple de calcul

Soit un groupe d'immeubles comprenant un restaurant de 50 couverts, 6 appartements de 5 personnes et un centre de soins occupant 10 personnes.

- Le nombre d'habitants à prendre en considération sera de :  $50 + 6 \cdot 5 + 0,5 \cdot 10 = 85$  personnes.
- Le dégraisseur doit être dimensionné pour 50 couverts et placé au niveau du rejet des cuisines du restaurant.
- La fréquence de vidange des boues sera de trois ans.
- Le volume de boues sera de  $40\text{l/pers/an} \cdot 85 \text{ personnes} \cdot 3 \text{ ans} = 10,2 \text{ m}^3$ .
- Le volume de séjour des eaux usées sera de :
  - restaurant :  $50\text{l/pers/j} \cdot 50\text{pers} \cdot 4\text{jours} = 10\text{m}^3$ ,
  - appartements :  $70\text{l/pers/j} \cdot 30\text{pers} \cdot 4\text{jours} = 8,4\text{m}^3$ ,
  - centre de soins :  $100\text{l/pers/j} \cdot 10 \text{ pers} \cdot 4\text{jours} = 4\text{m}^3$ ,
  - Soit un volume total de  $22,4 \text{ m}^3$ .
- Le volume total immergé sera de  $32,6 \text{ m}^3$ .
- Le volume de boues est inférieur à 50% du volume immergé  $\Rightarrow$  OK.
- La hauteur du volume immergé sera de 2,5m
- La surface du volume immergé sera de  $13,04\text{m}^2$ .
- La longueur du volume immergé sera de 5,5m.
- La largeur du volume immergé sera de 2,44m arrondi à 2,5m.
- Le rapport Longueur/largeur est de  $5,5/2,5 = 2,2 \Rightarrow$  compris entre 2 et 3.  $\Rightarrow$  OK.



## CHAPITRE 3 : SYSTÈMES EXTENSIFS

Les systèmes extensifs peuvent être classés en deux catégories :

- les systèmes extensifs à biomasse libre ;
- les systèmes extensifs à biomasse fixée.

Une autre classification, concernant le caractère aérobie ou anaérobie de la digestion est également utilisée dans la littérature. Cependant, du fait de la cohabitation fréquente des processus aérobies, anaérobies et anoxiques au sein d'un même procédé épuratoire, cette distinction est peu appropriée. En effet, la majorité des procédés anaérobies extensifs fonctionnent partiellement en aérobie avec des zones anoxiques et les procédés aérobies comportent aussi des zones anoxiques.

Globalement, les systèmes extensifs se prêtent mieux à l'assainissement des petites collectivités rurales pour les raisons suivantes :

- les consommations énergétiques sont nulles ou très faibles ;
- les performances de ces systèmes s'accroissent sensiblement avec la température et de ce fait fonctionnent mieux dans les pays chauds que dans les pays tempérés ;
- la maintenance et le suivi de ces installations demande moins de moyens et de connaissances électromécaniques que les systèmes intensifs ;
- ils s'adaptent facilement à des variations ponctuelles de débit importantes, du fait d'une pluie ou d'une activité sociale ou économique particulière.

### 1 Systèmes extensifs à biomasse libre

Les lagunages naturel et aéré constituent les systèmes à biomasse libre. L'épuration des eaux usées par ces procédés se caractérise d'abord par sa simplicité, son pouvoir tampon face aux variations de charges organiques ou hydrauliques (en raison du temps de rétention hydraulique qui est beaucoup plus élevé que dans les procédés intensifs et les procédés extensifs à biomasse fixe).

Ces caractéristiques permettent d'utiliser ces systèmes à l'aval de réseaux de collecte unitaires, même pour de petites unités, contrairement à la majorité des autres techniques présentées dans ce manuel.

Le lagunage naturel permet une épuration à très faible consommation énergétique mais génère souvent des nuisances olfactives durant certaines périodes de l'année. Les surfaces occupées par les bassins sont d'autant plus importantes que l'ensoleillement et les températures les plus basses des eaux à épurer sont faibles.



Ces deux systèmes ne sont pas particulièrement adaptés à l'assainissement des petites collectivités pour les raisons suivantes :

- lagunage naturel :
  - surface d'eau libre, ce qui impose une surveillance très régulière du site et une clôture périphérique ;
  - risque de production de mauvaises odeurs, ce qui impose l'éloignement du site vis à vis des zones d'habitations et des axes routiers ;
  - exige de grandes surfaces horizontales pour y implanter les bassins ;
  - nécessite des sols à faible perméabilité ( $10^{-8}$ m/s) ou l'utilisation de matériaux étanches sur de grandes surfaces.
- lagunage aéré :
  - surface d'eau libre, ce qui impose une surveillance très régulière du site et une clôture périphérique ;
  - consommation électrique importante ;
  - matériel d'aération spécifique, ce qui peut poser d'importants problèmes de maintenance dans certaines régions isolées ;
  - exige des surfaces horizontales importantes pour implanter les bassins (l'utilisation de plusieurs bassins de taille plus petite contribuent à multiplier le nombre de systèmes d'aération) ;
  - nécessite des sols à faible perméabilité ( $10^{-8}$ m/s) ou l'utilisation de matériaux étanches sur de grandes surfaces.

## 1.1 Lagunage naturel

Le procédé utilise deux types de bassins :

- les bassins anaérobies d'environ 4 m de profondeur ;
- les bassins facultatifs d'environ 2 m de profondeur.

Les premiers bassins assurent une décantation primaire avec accumulation des boues au fond du bassin. Celles-ci fermentent et produisent du biogaz. Généralement, ces bassins sont dimensionnés pour un temps de séjour de 4 jours et un stockage des boues de 5 à 10 ans.

Les seconds bassins assurent la dégradation de la charge organique en suspension. Leurs dimensions dépendent de l'ensoleillement et de la température du mois le plus défavorable.

Cette technique est utilisée et maîtrisée par l'ONEP depuis de nombreuses années.

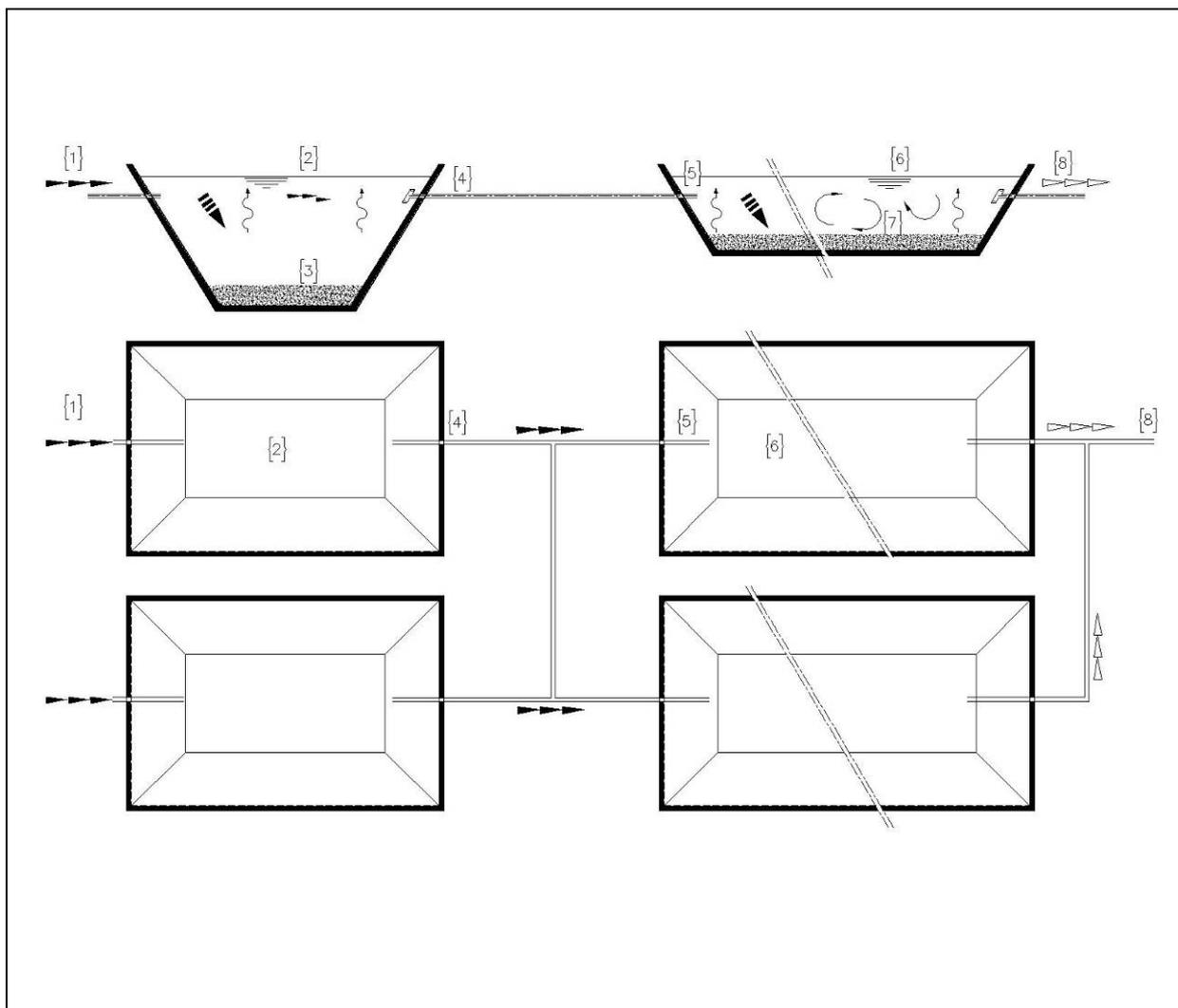


Figure 6 : Schéma de principe de lagunage naturel équipé d'un premier bassin anaérobie



L'eau usée {1} entre dans la lagune anaérobie {2} (qui pourrait être supprimée dans le cas d'une alimentation par un réseau décanté), y séjourne généralement 4 jours puis arrive dans la lagune facultative (temps de séjour variant entre 10 et 30 jours en fonction des conditions climatiques et de la charge polluante) puis est rejetée vers le milieu récepteur.

### 1.1.1 Traitement préalable au lagunage naturel

Contrairement à la majorité des autres procédés, il n'est pas nécessaire d'implanter un traitement primaire à l'aide de fosses septiques ou de fosses Imhoff, cette fonction étant assurée par le bassin anaérobie.

Néanmoins, dans certains cas, le bassin anaérobie pourrait être remplacé par des fosses septiques implantées au niveau des habitations (par exemple dans le cadre d'un réseau décanté) ou par un réacteur anaérobie compartimenté (voir supra).

### 1.1.2 Dimensions des bassins de lagunage naturel

La forme des bassins peut varier selon la configuration du site. Cependant une préférence sera accordée aux bassins rectangulaires dans la mesure où il est possible d'orienter la plus grande dimension perpendiculairement à la direction des vents dominants.

La géométrie des bassins facultatifs ou de stabilisation est préférentiellement rectangulaire avec  $L = 2 \text{ à } 3 \times l$  [11].

Les pentes des berges des bassins présentent un rapport H/L d'au moins 1/2,5 [11]. La pente typique des berges est de 3 H:1 V. La hauteur de revanche recommandée au-dessus du niveau d'eau maximal est d'au moins 0,6 m. La largeur des digues au sommet est de 2,4 m à 3,0 m environ.

### 1.1.3 Hydraulique des bassins de lagunage naturel

Du fait du faible brassage et de l'importance du temps de séjour, il est important d'assurer une bonne répartition de l'écoulement de l'eau dans les bassins. Des lames de répartition peuvent contribuer à cette bonne répartition des flux d'eau sur toute la surface du bassin.

Dans un système de bassins en série, des conduites de contournement de chaque bassin sont normalement prévues de façon à pouvoir maintenir un certain niveau d'épuration s'il est nécessaire de vidanger l'un des bassins. Pour des raisons d'économie, les petites stations peuvent être acceptées sans conduites de contournement sauf en présence d'un milieu récepteur très sensible susceptible de subir des dommages importants même en cas de déversement temporaire.



La tuyauterie des bassins doit permettre le cheminement des eaux usées en période de débit maximal sans entraîner de refoulement ou de rehaussement excessif du niveau de l'eau. Il y a lieu de s'assurer de l'étanchéité de la paroi autour des conduites d'entrée et de sortie de chaque bassin et des éventuels problèmes d'érosion autour des conduites d'entrée et de sortie des bassins.

Des conduites de trop-plein d'urgence sont généralement installées entre le niveau d'eau normal et le sommet des digues.

Une alimentation à points multiples favorise une meilleure répartition de l'affluent qu'une conduite d'alimentation unique, à placer à au moins 0,3 m au-dessus du fond. Un dispositif permettant l'ajustement du niveau d'eau sur toute la gamme de niveaux d'exploitation prévue est requis à la sortie de chaque bassin. Il peut permettre servira à limiter le débit lors de la vidange, de façon à éviter l'entraînement des matières déposées au fond des bassins et à assurer l'intégrité physique des ouvrages.

#### 1.1.4 Contraintes d'implantation du lagunage naturel

Outre le fait que les bassins occupent beaucoup de place, la réduction de leur coût de construction passe par une optimisation des matériaux nécessaires.

L'étude de choix du site revêt une grande importance dans l'élaboration d'un projet d'épuration d'eaux usées par lagunage naturel. En plus des études topographiques et de l'examen des lieux environnants, la conception des bassins nécessite des études géotechniques et hydrogéologiques appropriées et suffisamment documentées.

Ces études permettent de déterminer :

- les risques d'instabilité,
- la position et les risques de contamination des ressources en eau,
- le potentiel d'utilisation des matériaux du site pour construire les digues, et les systèmes d'étanchéité ;
- les difficultés de construction, l
- la profondeur des bassins et le système de drainage requis s'il y a lieu.

Le fond des bassins doit disposer d'une perméabilité  $< 10^{-8}$  m/s sur au moins 25 cm d'épaisseur [11].

Lorsqu'une étanchéification du sol est nécessaire, ce procédé perd une bonne partie de son intérêt du fait de l'accroissement important des coûts d'investissement.

Le choix du degré d'étanchéité à retenir pour un projet donné dépend de son contexte environnant, soit :



- des conditions hydrogéologiques associées à l'utilisation de l'aquifère pour des fins d'approvisionnement (nappes exploitées ou exploitables) ;
- des risques de perturbation des activités périphériques causés par la remontée de la nappe (stabilité des sols et modification de la qualité et de l'affectation des sols situés à l'aval de la station) ;
- des problèmes potentiels de stabilité résultant de résurgences ;
- de la protection des équipements.

Si le site d'implantation de la station se trouve dans une zone non sensible, c'est à dire :

- éloignée de toute nappe exploitée ou exploitable ;
- séparée des nappes exploitées ou exploitables par une barrière naturelle étanche ;
- à l'aval des nappes exploitées ou exploitables ;

Les seuls critères d'étanchéité doivent concerner le bon fonctionnement des bassins et la stabilité géomécanique des abords et alentours.

D'une manière général, il est admis que le point de captage d'eau est protégé pour autant que le temps de séjour, dans le sol, de l'eau provenant de la station d'épuration est d'au moins 100 jours avant d'atteindre la zone d'influence du puits à protéger.

Pour des stations de petite taille (< 1.000 EH) situées en zone non sensible, des infiltrations représentant 50% du débit entrant sont admises dans certains pays (Canada). Ce qui représente, pour une lagune d'une profondeur de 2 m, une conductivité hydraulique de  $10^{-6}$  m/s. En France, la valeur de référence est de  $10^{-8}$  m/s (sur 25 cm d'épaisseur minimum). Il est important de remarquer qu'au cours du fonctionnement de la station d'épuration, le sol va petit à petit perdre de sa perméabilité du fait de l'accumulation des boues au fond du bassin. Dans la mesure où des valeurs de  $10^{-8}$  m/s sont aisément réalisables, particulièrement dans les sols limoneux ou argileux lorsque le sol présente une faible aptitude à un tel niveau d'étanchéité, il est préférable d'opter pour d'autres techniques d'épuration.

Si cette perméabilité n'est pas atteinte, par le sol mis en place, une géomembrane devra être installée et protégée des risques d'altération lors de l'évacuation des boues.

Pour des installations de petite taille (<1.000 EH) situées en zone très sensible (nappe exploitée ou exploitable à moins de 100 j.) (Cf. supra), il est préférable de la déplacer.



Les bassins peuvent être établis directement en excavation dans le sol en place lorsqu'il s'agit d'un sol peu perméable, en s'assurant que l'épaisseur de sol peu perméable est suffisante pour atteindre les objectifs d'étanchéité visés.

Dans les petits bassins à parois verticales en béton, le béton agit comme barrière hydraulique.

Généralement, un éloignement de plus de 600m des zones d'habitations est vivement conseillé. Lorsque les conditions locales sont défavorables à une bonne dispersion des odeurs (inversion thermique, orientation des vents dominants, relief défavorable, ...).

L'éloignement du site doit être examiné en fonction des cas.

Dans la mesure où ce type d'infrastructure exerce un certain attrait vis-à-vis de la population et que la nature des eaux traitées doit imposer un minimum de vigilance, les bassins doivent être entourés d'une clôture servant à limiter l'accès aux ouvrages de l'épuration des eaux usées. Il s'agit généralement d'une clôture d'une hauteur de 2 mètres. Des panneaux d'avertissement doivent indiquer la nature des installations et en interdire l'accès.

### **1.1.5 Exploitation du lagunage naturel**

L'exploitation de ce type d'installation est peu exigeant en main d'œuvre. Il s'agit principalement de nettoyer les abords et de veiller à la non prolifération de végétaux et d'animaux non désirables.

Par ailleurs un suivi des performances épuratoires, sur les plans qualitatifs et quantitatifs est recommandé.



## 1.2 Lagunage aéré

### 1.2.1 Présentation du lagunage aéré

Traditionnellement, on distingue en lagunage aéré les dispositifs de lagunage «aéré-aérobie» où l'entièreté du volume du bassin est en aérobose et la totalité de la biomasse est maintenue en suspension, et les lagunages aérés «aérobie-anaérobie» également nommés «lagunage aéré facultatif» où la puissance de brassage est généralement insuffisante pour éviter tout dépôt. [24]

Les bassins aérés aérobie sont des bassins où l'on injecte suffisamment d'air et d'énergie de brassage pour maintenir les solides en suspension et assurer des conditions d'oxygène dissous en tout point. Ces derniers sont à temps de rétention plus court et sont aussi utilisés le plus souvent comme première étape du traitement biologique lorsque les charges sont élevées, particulièrement dans l'épuration des effluents d'industries agro-alimentaires.

Les bassins aérés facultatifs disposent d'une puissance d'aération plus faible, ce qui permet d'éviter les risques d'érosion des fonds de bassin, de mise en suspension d'une partie du sol de la lagune tout en favorisant une décantation avant le bassin facultatif qui est similaire à celui du lagunage naturel. Cette technique permet de réduire les surfaces nécessaires et les nuisances olfactives mais engendre de nouveaux coûts d'exploitation et dans certains cas produits des aérosols d'eaux usées. Ce procédé est plus adapté à l'épuration d'eaux résiduaire domestiques, particulièrement lorsqu'elles proviennent d'un réseau décanté.

Les bassins aérés facultatifs sont constitués de bassins dans lesquels l'oxygénation est réalisée au moyen de diffuseurs d'air installés au fond des bassins ou d'aérateurs de surface. Les bassins sont en condition de mélange partiel, c'est-à-dire que l'énergie de brassage est insuffisante pour éviter tout dépôt. Seule une partie des matières solides est maintenue en suspension, le reste décante au fond des bassins, où elle constitue les boues qui entrent en digestion anaérobie.

Les charges organiques appliquées et les matières organiques solubles provenant de la digestion des boues sont oxydées dans les zones supérieures aérobie. Il s'agit donc d'un procédé où l'oxygénation sert principalement à la dégradation de la matière organique difficilement décantable. La fraction aisément décantable est par contre digérée par voie anaérobie. Cette approche contribue initialement à réduire les coûts d'aération (puisque elle ne sert qu'à dégrader la  $DBO_5$  soluble et difficilement décantable, soit environ 50% de la  $DBO_5$  totale).

Cependant, une fois que les boues sont en quantités suffisantes, la digestion anaérobie du fond de bassin remet en solution et en suspension une partie de la

matière organique décantée. Ce nouvel apport de matière organique en suspension, combinée à un âge des boues important, contribue à augmenter la quantité d'oxygène consommée par unité de  $DBO_5$  éliminée. Il est souvent constaté que ce procédé consomme autant d'oxygène, par Kg de  $DBO_5$  éliminée, que les boues activées.

Par contre, du fait d'un âge des boues beaucoup plus élevé, leur production est beaucoup plus faible que dans le cas des boues activées.

Souvent, la zone aérée et brassée est constituée de deux bassins hydrauliquement indépendants afin d'assurer un meilleur rabattement de la charge organique. Il peut s'agir de deux lagunes indépendantes ou d'une seule lagune séparée en deux à l'aide de cloisons.

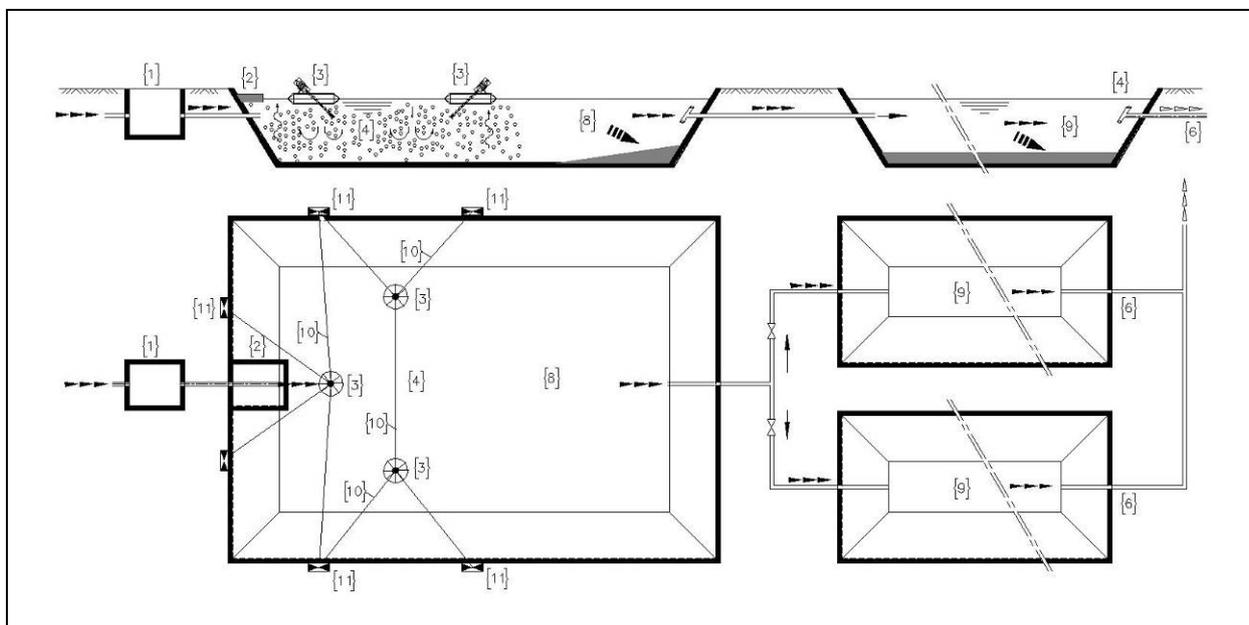


Figure 7 : présentation du lagunage aéré

Le débit de l'eau entrante est mesuré {1}, un dégrillage sommaire {2} retient les objets flottants qui pourraient nuire aux aérateurs {3}, l'eau est brassée et aérée {4}, elle subit ensuite une décantation {8} avant de rejoindre la lagune facultative {9} où la partie décantée subit une dégradation anaérobie puis l'eau épurée est rejetée {6}.

### 1.2.2 Traitement préalable au lagunage aéré

Généralement, aucun équipement de prétraitement n'est requis pour les petites stations d'épuration par lagunage aéré. Les eaux usées brutes sont acheminées directement dans le premier bassin. Il est important de s'assurer que les équipements d'aération utilisés soient compatibles avec l'épuration d'eaux usées sans dégrillage ou de prévoir les équipements de protection nécessaires dans le cas d'aérateurs sensibles.

Un dégrillage en amont des bassins aérés peut être envisagé, particulièrement dans le cas de réseaux unitaires. Il a pour but de réduire la quantité de résidus à la surface et sur les rives des bassins et de minimiser la présence de déchets, laquelle est peu souhaitable dans les boues susceptibles d'être valorisées. La pertinence du système de dégrillage est alors évaluée au cas par cas.

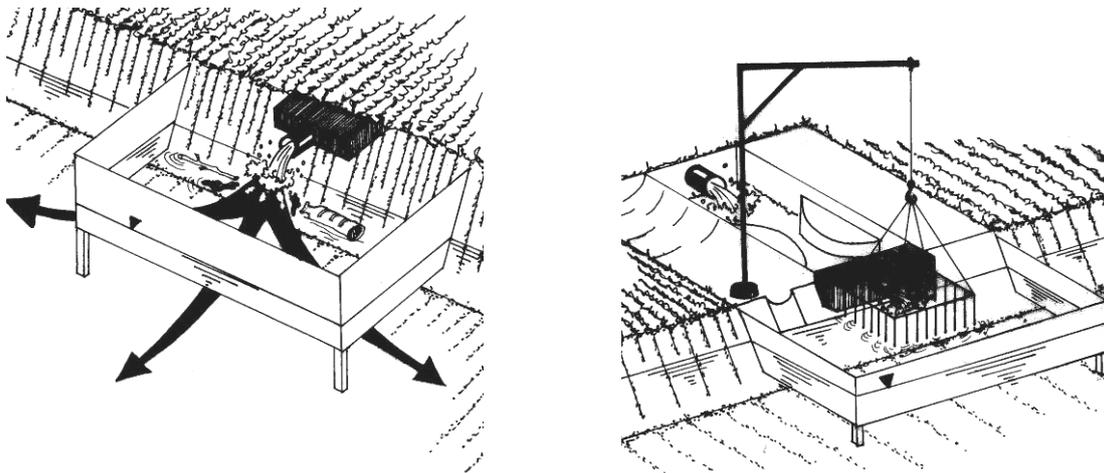


Figure 8 : dégrilleurs simplifiés pour les lagunes aérées

### 1.2.3 Nombre de bassins du lagunage aéré

Il est reconnu que pour un temps de rétention total donné, le rendement augmente avec le nombre de cellules en série, du moins jusqu'à un total de quatre cellules.

La réalisation d'au moins deux bassins en série est privilégiée pour les petites stations. L'un des bassins ou les deux peuvent être séparés au moyen d'un mur rideau afin d'obtenir trois ou quatre cellules, permettant ainsi d'améliorer le rendement sans devoir augmenter le temps de rétention.

L'aménagement d'un seul bassin séparé en deux ou trois cellules au moyen d'un ou deux murs rideaux n'est pas recommandé parce qu'il nécessite une mise hors service de toute la station si un bassin doit être vidangé pour une réparation.

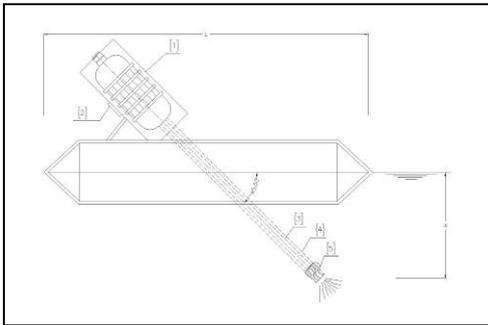
Un aménagement de ce genre peut toutefois être concevable pour les très petites installations, par exemple de l'ordre de 50 m<sup>3</sup>/j et moins sauf en présence d'un milieu récepteur très sensible où un déversement temporaire en cas de vidange ne pourrait être accepté.

### 1.2.4 Système d'aération du lagunage aéré

Dans les bassins aérés facultatifs, le système d'aération doit fournir une quantité d'oxygène suffisante pour satisfaire aux demandes carbonée et azotée dans chaque bassin pour chaque condition particulière d'alimentation en tenant compte des

diverses formes d'activités biologiques qui se produisent dans les bassins. Il doit aussi assurer une dispersion adéquate de l'oxygène dissous. Pour ce faire, une concentration minimale d'oxygène dissous d'environ 2 mg/L est à maintenir en permanence dans les bassins sauf dans la couche de boues déposées.

Les appareils d'aération sont installés de façon stable pour ne pas se renverser. Ils sont parfois munis de câbles chauffants pour permettre la remise en marche des aérateurs à la suite d'une panne de courant prolongée durant une période de gel pour certaines zones du Maroc.



**Figure 9 : exemple de petit aérateur de surface utilisé pour le lagunage naturel**

Il faut également prévoir leur accessibilité en toute sécurité pour en assurer l'entretien et les réparations majeures (parfois des grues à longue portée sont nécessaires).

Dans le cas de petites unités, les aérateurs peuvent être manipulés par deux personnes, sans engins de levage.

Il y a lieu de prévoir au moins deux appareils par bassin afin d'éviter un arrêt complet de l'aération en cas de panne.

Dans le cas de fortes variations de charge, il est judicieux de prévoir l'arrêt d'une partie du système d'aération lorsque la demande en oxygène est plus faible.

La largeur au fond des bassins doit être suffisante pour permettre de placer adéquatement les appareils d'aération. Les coins des bassins sont légèrement arrondis.

Le fond doit être de niveau, ceci est particulièrement préconisé lorsque le système d'aération est constitué de conduites de distribution au fond des bassins avec des orifices, et ce afin d'avoir une hauteur d'eau constante au-dessus des orifices et permettre une répartition uniforme de l'air.

Pour des faibles débits, le principe des bassins aérés a été adapté en utilisant des bassins à parois verticales, le plus souvent en béton, afin de permettre l'aération de tout le volume d'eau.



Ces bassins à parois verticales peuvent prendre diverses formes. Des installations municipales de l'ordre de 50 à 150 m<sup>3</sup>/j ont été réalisées avec des bassins circulaires divisés en 2 ou en 3. Le principe des bassins aérés peut s'appliquer à des débits encore plus faibles, en choisissant une configuration géométrique et des équipements en conséquence.

Pour des bassins de faible superficie, où l'action du vent est moins significative, une revanche de hauteur moindre, par exemple réduite à 0,6 m plutôt que 1 m, peut être acceptable.

### **1.2.5 Hydraulique des bassins de lagunage aéré**

Dans les petits bassins, il est acceptable de ne prévoir qu'une conduite d'entrée et une conduite de sortie. Dans ce cas, la conduite d'entrée dirige les eaux usées vers une zone agitée par le système d'aération afin d'en favoriser la répartition et la sortie est placée le plus loin possible de l'entrée. La sortie du dernier bassin sera située dans une zone tranquille. Le regard de sortie sera muni d'un déversoir ajustable permettant de faire varier le niveau d'eau dans le système.

Dans un système de bassins en série, des conduites de contournement de chaque bassin sont normalement prévues de façon à pouvoir maintenir le niveau d'épuration requis, même lors de la vidange d'un des bassins. Pour des raisons d'économie, les petites stations de type bassins aérés peuvent être acceptées sans conduites de contournement sauf en présence d'un milieu récepteur très sensible susceptible de subir des dommages importants même en cas de déversement temporaire.

La tuyauterie des bassins doit permettre de cheminer les eaux usées en période de débit maximal sans entraîner de refoulement ou de rehaussement excessif du niveau de l'eau.

Il faut s'assurer de l'étanchéité de la paroi et des problèmes d'érosion autour des conduites d'entrée et de sortie de chaque bassin.

Des conduites de trop-plein d'urgence sont généralement installées entre le niveau d'eau normal et le sommet des digues.

### **1.2.6 Contraintes d'implantation du lagunage aéré**

Outre le fait que le procédé du lagunage aéré occupe moins de place que le lagunage naturel, les contraintes d'implantation présentées pour le lagunage naturel restent d'application.

Une attention particulière doit être accordée à la dégradation des berges du fait du batillage de l'eau en mouvement, particulièrement dans le cas d'utilisation d'aérateurs de surface.



### 1.2.7 Exploitation du lagunage aéré

Les principaux éléments à considérer pour l'exploitation et l'entretien des bassins aérés sont les équipements d'aération, la tuyauterie, les ouvrages de génie civil et l'état des lieux en général.

Le système d'aération comporte des équipements mécaniques, qu'il s'agisse de surpresseurs ou d'aérateurs de surface, qui nécessitent un entretien régulier. Des vérifications régulières des vannes, clapets, ... sont requises.

L'exploitant doit vérifier régulièrement le bon fonctionnement général du système d'aération par une inspection visuelle des zones de brassage dans chaque bassin. Il doit aussi procéder à des mesures d'oxygène dissous à l'effluent et dans chaque bassin afin d'ajuster le débit d'air ou les vitesses de rotation s'il y a lieu. La présence d'odeurs doit être notée et des vérifications doivent alors être faites afin d'y remédier.

L'état et le fonctionnement des vannes, déversoirs ou autres composantes du réseau de tuyauterie d'eaux usées des bassins doivent être vérifiés régulièrement.

Des observations régulières du niveau d'eau dans les bassins sous diverses conditions de débits, comparativement au profil hydraulique prévu à la conception, peuvent permettre de déceler des problèmes liés au réseau de tuyauterie.

L'exploitant doit vérifier visuellement la stabilité des talus et des digues des bassins, l'occurrence de suintements à l'extérieur des digues, toute fissure ou déplacement de la membrane, toute trace d'érosion ainsi que tout affaissement du sol autour de regards et structures. Il faut s'assurer que les structures n'ont pas été affectées ou déplacées par le gel ou le dégel pour certaines zones du Maroc.

L'exploitation comprend aussi l'entretien général des lieux et la lutte contre la prolifération de la végétation sur les digues. Si un bâtiment abrite des équipements d'aération (surpresseur), il faut entre autres s'assurer du bon fonctionnement de la ventilation.

L'exploitant doit procéder à des mesures d'accumulation des boues au moins une fois par trois ans. Lorsque le volume de boues représente au moins 10 % du volume du bassin ou que le niveau des boues se situe à un mètre ou moins sous le niveau de la conduite de sortie, les boues doivent être évacuées. Les mesures doivent être effectuées à divers points répartis dans les bassins et en particulier dans la zone de décantation du dernier bassin. Le nombre de points de mesure recommandés est de 12 pour les bassins dont la surface au fond est inférieure à 2 000 m<sup>2</sup>.

Les boues doivent être évacuées conformément à la législation.



Un manuel d'exploitation doit permettre à l'exploitant de bien comprendre le fonctionnement du système et l'informer sur les tâches à accomplir et la fréquence associée à ces tâches.



## 2 Systèmes extensifs à biomasse fixée

Il existe de nombreuses variantes de systèmes extensifs à biomasse fixée, utilisés pour l'élimination du carbone mais aussi de l'azote et des germes pathogènes.

Ce manuel s'est limité à présenter en détail les procédés les plus adaptés aux petites collectivités rurales du Maroc, à savoir les filtres à sable non plantés à recirculation et les filtres plantés de roseaux à écoulement horizontal.

Ces deux solutions offrent l'avantage de rester modulaire et de pouvoir aisément être dimensionnés pour diverses concentrations d'effluents.

### 2.1 Filtres à sable non plantés

Les filtres à sable non plantés peuvent être à écoulement vertical intermittent, à écoulement vertical à recirculation et à écoulement horizontal. Ces systèmes demandent un suivi régulier et offrent des performances très satisfaisantes avec de rejets régulièrement inférieurs à 30mg/l de DBO<sub>5</sub>.

En fonction de la technologie retenue, ces filtres peuvent être plus ou moins compacts. Ils sont tous précédés d'un traitement primaire (fosse septique ou décanteur-digesteur) afin d'éliminer une fraction importante des matières en suspension et des matières sédimentables.

Différentes approches ont été développées pour l'épuration par filtres à sable non planté. Pour des raisons de sensibilité aux eaux concentrées, de maintenance (système de décolmatage des filtres) et de niveau d'équipement électromécaniques. Les filtres à sable intermittents sans recirculation, à forte charge, ne sont pas présentés dans le cadre de ce manuel.

Seul le filtre à sable non planté à recirculation, moins sujet au colmatage du sable est présenté. En effet, la recirculation permet d'accroître la charge hydraulique sur le filtre et de mieux répartir la matière organique sur toute l'épaisseur du massif filtrant.

Ce système se rapproche du lit bactérien avec recirculation et se situe à la limite entre les systèmes intensifs et extensifs, alors que les systèmes sans recirculation sont typiquement de type extensif (mais ceux-ci s'adaptent plus difficilement aux fortes concentrations que l'on risque de rencontrer dans le monde rural).

Cette option s'avère particulièrement intéressante dans le cas d'effluents fortement chargés, elle permet également de réduire l'apparition d'un film biologique à la surface du sable, évitant ainsi une forte réduction de la vitesse d'infiltration.

L'épuration est de type aérobie et la recirculation évite l'apparition de mauvaises odeurs.





répartition {2}, une partie est rejetée {12} et l'autre {6} renvoyée dans la chambre tampon afin de diluer l'eau entrante.

Le système de distribution joue un rôle particulièrement important, on opte de plus en plus pour des buses fonctionnant à faible pression pour des eaux chargées.

Une partie de l'eau (entre 60 et 80%) retourne vers la chambre tampon et le reste est évacué vers le milieu récepteur. Le mélange des eaux de fosse septique et des eaux épurées permet de réduire très fortement les nuisances olfactives et crée des conditions anoxiques favorables à la dénitrification.

La fosse septique ou le décanteur – digesteur peuvent être enterrés mais il est préférable de positionner le filtre en surface afin de ne prévoir qu'un seul relevage au niveau de la chambre tampon.

Le rendement de ces systèmes est très satisfaisant et permet des rejets dont la concentration en  $DBO_5$  est inférieure à 30 mg/l, sans difficulté majeure. Le rabattement en germes pathogènes (coliformes fécaux) est également significatif (2 à 3 log) et l'effluent contient très peu de MES. Ces deux éléments constituent un des intérêts de la filière pour une réutilisation agricole.

## 2.2.2 Dimensionnement des filtres à sable non plantés à recirculation

### 2.2.2.1 Charges

Les charges organiques sur le filtre peuvent atteindre 40g de  $DBO_5/m^2.j$  pour autant que le débit de recirculation soit de 4 à 5 fois le débit entrant. La plage de fonctionnement habituelle se situe autour de 25 g de  $DBO_5/m^2.j$ , soit 3 à 4 fois plus que les filtres à sable intermittents. L'épaisseur de matériau filtrant est habituellement comprise entre 45 et 90 cm, une épaisseur de 60 cm est fréquente. Des épaisseurs plus importantes (1 à 2 m) peuvent être nécessaires lorsqu'on vise à garantir les concentrations maximales en pathogènes (coliformes fécaux).

Une couche de gravier dispersant de 30cm d'épaisseur permet d'assurer une bonne répartition de l'eau dans le massif filtrant.

La charge hydraulique doit être comprise entre 120 et 240 mm/j.

Le temps de pompage est généralement de 2 à 3 minutes par cycle avec un nombre de cycles compris entre 48 et 72 cycles /j. Le temps entre les cycles varie de 10 à 20 minutes.

Pour un rejet de 30g/hab.j de  $DBO_5$ , une surface de filtre de 1m<sup>2</sup>/habitant suffit, ce qui permet une installation relativement compacte et situe ce procédé à la limite entre les procédés extensifs et intensifs.



Un dégraisseur reste indispensable dans le cas d'effluents provenant de restaurants ou d'industries agro-alimentaires.

Le bassin de recirculation, d'un volume utile correspondant à une à deux fois le débit journalier entrant assure l'égalisation et la dilution de l'effluent avant traitement

Le filtre est à aménager en au moins deux section de manière à pouvoir intervenir sur le filtre sans interrompre complètement son fonctionnement mais, pour des raison d'optimisation du système de pompage, le filtre est souvent divisé en 4 à 6 unités.

Le bassin de mélange reçoit l'effluent de la fosse septique ou du décanteur-digester et une partie du filtrat (qui représente environ 80 % de l'eau recueillie sous le filtre). Pour assurer un mélange optimal, l'effluent de la fosse septique et le retour d'eau filtrée se font à une extrémité de la chambre tampon alors que l'eau dosée sur les filtres est prélevée à l'autre extrémité.

Pour prévenir les odeurs causées par le dégazage, l'effluent de la fosse septique est déversé vers le bas du bassin à l'aide d'un tuyau immergé. Le retour d'eau filtrée se fait plutôt en chute libre pour favoriser une oxygénation maximale.

Il est également utile d'asservir ces systèmes de rejet au niveau de la cuve de mélange. En effet, sans régulation et sans alimentation durant une longue période, on pourrait vider la cuve de mélange et assécher le filtre, ce qui nuirait à son fonctionnement lors de la reprise des rejets d'eaux usées.

La protection du massif filtrant vis-à-vis des poussières permet d'en préserver les performances, particulièrement à proximité d'une route ou dans les région où le transport éolien du sable et de poussières est important.

#### 2.2.2.2 Cinétique d'épuration des filtres à sable non plantés à recirculation

La cinétique des filtres à sables s'exprime par l'équation :

$$\frac{C_s}{C_c} = e^{-K_{ab}.t}, \text{ dans laquelle :}$$

$C_s$  : Concentration en sortie (mg/l de  $DBO_5$ ) ;

$C_c$  : Concentration en entrée (mg/l de  $DBO_5$ ) ;

$K_{ab}$  : Coefficient d'absorption ( $s^{-1}$ ) ;

$t$  : temps nominal de traversée du filtre.

$K_{ab}$  : varie avec chaque filtre en fonction de la charge hydraulique et du degré de développement de la biomasse. Il ne peut être défini à partir de la granulométrie du matériau filtrant.



t : est généralement compris entre 20 et 30 secondes. Et on observe, pour des rabattements de l'ordre de 95% et des filtres de 60cm de profondeur, des valeurs de  $K_{ab}$  de  $0,1 \text{ s}^{-1}$ .

Par ailleurs, il est important d'observer que la cinétique de dégradation dépend moins de la température que pour les filtres plantés, bien que celle-ci intervienne dans le développement de la biomasse et donc dans la valeur de  $K_{ab}$ .

### 2.2.2.3 Pompage

Le dimensionnement du groupe de pompage nécessite une attention particulière. En effet, le système de pompage est un des postes d'exploitation les plus importants. Afin de s'adapter aux contraintes de fonctionnement des zones rurales, il est nécessaire de recourir à des équipements standard et d'opter pour des pompes de relevage d'eau usées à grande section du raccord d'entrée et de sortie (conduites de 1 pouce minimum) et à faible pression (1 bar maximum, en général).

Comme le système fonctionne de façon discontinue, le débit de pompage sera supérieur au débit de rejet. Cette différence sera d'autant plus élevée que le taux d'utilisation des pompes sera faible.

Par ailleurs, l'absence de pompage ne permet plus au système de fonctionner, c'est pourquoi il est indispensable de prévoir un dédoublement des pompes et le maintien de l'épuration si une des deux pompes ne fonctionne pas.

La qualité du traitement primaire, avec un bon rabattement de la matière en suspension contribue sensiblement à la longévité des systèmes de pompage.

L'organisation des cycles de pompage va donc jouer un rôle important

- dans la réduction des coûts d'investissement et
- dans l'exploitation du système.

Par exemple, sur base des contraintes d'alimentation par 48 à 72 bâchées de 2 minutes chacune, le temps de pompage, par massif filtrant est de 96 à 144 minutes. En considérant que les 72 bâchées correspondent au débit de pointe et les 48 bâchées au débit nominal et que ce débit est apporté sur 18 heures ( $Q_{18}$ ), le taux d'utilisation de la pompe sera de :

- 96 minutes par 1080 minutes  $\cong 9\%$  ;
- 144 minutes par 1080 minutes  $\cong 13,3\%$ .

Sur base de cette analyse, il est conseillé de compartimenter le massif filtrant en plusieurs unités alimentées en alternance, par exemple 6 compartiments. Dans ce



cas, le taux d'utilisation des pompes sera de 70 à 80% et la puissance installée sera largement réduite.

Cette approche nécessite une régulation (nécessaire au niveau de la chambre d'alimentation) permettant d'orienter l'eau pompée vers les différents compartiments de 'épuration.

Au niveau de chaque compartiment, le volume cumulé de la chambre de répartition et des drains dispersants correspondra au volume d'une bâchée, ce qui assure une indépendance hydraulique entre le système de pompage et le système de distribution de l'eau sur le filtre.

La chambre de distribution sera de préférence située 1 m au dessus des drains dispersants afin d'assurer un bon écoulement gravitaire et une dispersion de l'eau sur le massif filtrant.

On considérant 72 cycles répartis en 18 heures, le temps moyen de chaque cycle sera de 15 minutes.

#### 2.2.2.4 Alimentation du filtre

Dans beaucoup de cas, la distribution d'eau se fait à l'aide de conduites perforées sous pression équipées de buses de pulvérisation à faible pression adaptées aux eaux chargées. Cette approche exige de pomper l'eau à une pression oscillant entre 1 et 3 bars, ce qui exclut l'usage de petites pompes ordinaires de refoulement d'eaux usées (qui généralement ne dépassant pas une pression de fonctionnement d'environ 1 bar).

Ces équipements et les compétences nécessaires pour leur choix, leur installation et leur maintenance ne sont pas aisément disponibles dans toutes les localités rurales du Maroc. C'est pourquoi il est préconisé d'opter pour une distribution de l'eau par drains et graviers dispersants alimentée à l'aide d'une pompe de relevage ordinaire pour les eaux usées (généralement de 1 à 10 l/s et 1 bar de pression maximale).

Les perforations des conduites seront orientées vers le haut afin d'assurer une répartition plus homogène de l'eau sur le massif dispersant et de réduire les risques de colmatage des ouvertures. Les extrémités des conduites de distribution restent accessibles au curage.

Le nombre de drains dispersants dépend de la géométrie du filtre. L'espacement des perforations (trous de Ø 10 mm) sera de maximum 20 cm et orientés en quinconce, de manière à arroser des deux côtés du tuyau. Cette distance pourra être réduite si on observe que le temps d'évacuation de l'eau est supérieur au temps de temporisation.



La chambre de distribution sera de préférence surélevée, de manière à maintenir l'eau en légère pression au niveau des drains dispersants, une surélévation de 1 m est conseillée. Son volume minimum correspondra à 1 cycle de pompage. Cette approche permet de garantir que le volume d'eau d'un cycle de pompage sera effectivement déversé au niveau du filtre. Le suivi de la vitesse de vidange de la chambre de distribution servira également au suivi de l'état des drains dispersants.

Le volume des drains dispersants, chambres de distribution et chambres de bouclage présentera un volume au moins équivalent au cycle de pompage.

#### 2.2.2.5 Percolation

Le système de collecte de l'eau au pied du massif filtrant est semblable à celui utilisé dans les filtres à sable intermittents (Cfr partie I du manuel). La double couche de graviers de granulométrie différente reste conseillée.

Le temps nécessaire à la percolation de l'eau sur le massif filtrant est donné par la relation suivante :

$$K = C d_{10}^2$$

avec :

- K = Conductivité hydraulique cm/s ;
- C = 25 à 150 (variable selon le matériau) ;
- $d_{10}$  = diamètre efficient (cm) = diamètre de la maille du tamis permettant le passage de 10% de la masse du gravier. les valeurs de C habituellement utilisées sont de :
  - 150 pour les sables grossiers ;
  - 50 pour les sables fins et silts ;
  - 25 pour les graviers et cailloux.

Dans ce cas K sera de  $150 \times 0,25^2 = 9,37 \cong 9$  cm/s soit, pour un massif de 60 cm d'épaisseur, un temps de 7 secondes qui est compatible avec les cycles envisagés.

Le temps de percolation est donc assez court, suit ensuite le temps de ruissellement qui est souvent estimé à environ une trentaine de secondes puis le temps d'absorption du substrat par les bactéries et d'aération du support filtrant. Il est donc recommandé de prévoir un temps de 2 à 3 minutes entre deux aspersion, même lors de forts débits.



#### 2.2.2.6 Evacuation de l'eau au pied du filtre

Le nombre de drains de collecte sera de deux par compartiment. Le diamètre de la conduite de collecte sera suffisant pour permettre un écoulement gravitaire vers la chambre d'évacuation de l'eau collectée.

Une conduite de Ø200mm permet de transporter facilement des débits de 10 à 15 l/s pour des pentes comprises entre 1 et 2%, ce qui est suffisant pour les gammes d'utilisation envisagées. On optera donc pour une conduite PVC Ø200mm pour la collecte de l'eau provenant des drains de collecte.

La chambre d'évacuation sera alimentée par l'eau collectée au pied du filtre. Une partie sera évacuée vers le milieu récepteur et le reste retourne vers la chambre de relevage.

Le système le plus simple de répartition des débits consiste à prévoir des prises d'eau de petit diamètre, toutes identiques et positionnées à la même hauteur, dans une chambre étroite permettant de maintenir une légère charge au dessous de ces ouvertures. Les conduites alimentées par ces ouvertures seront suffisamment grandes pour n'être noyées qu'au tiers de leur diamètre. La solution la plus simple à mettre en œuvre au niveau du chantier consiste à coller de petits manchons filetés de Ø30 à 50 mm (en fonction du débit envisagé) sur une conduite de Ø200 et de fermer ces conduites à l'aide de bouchons filetés. Ces bouchons sont perforés d'un trou de Ø10 à 30mm (en fonction du débit envisagé) et leurs hauteurs sont alignées à l'aide des filets puis bloquées par du silicone ou de la colle. Lorsqu'on veut augmenter ou diminuer le taux de recyclage d'une unité, il suffit perforer ou de boucher un des bouchons filetés.

### **2.2.3 Matériaux et équipements des filtres à sable non plantés à recirculation**

Ce procédé étant très proche du filtre à sable intermittent présenté dans la partie I du manuel, les matériaux employés sont très proches.

#### 2.2.3.1 Canalisations:

Les conduites sont en PVC rigide, généralement de Ø200 mm pour l'alimentation et l'évacuation de la fosse septique et de Ø100 mm pour les drains dispersants.

#### 2.2.3.2 Conduites de distribution

Les conduites de distribution sont disposées en parallèle et à l'horizontale. Le diamètre des tuyaux est de 100 mm.



Les orifices des conduites sont soit des trous de 8 à 10 mm de diamètre soit des fentes de 5 mm de large, sur 1/4 de la circonférence.

L'espacement des orifices préconisé est de 10 cm pour les trous et de 30 cm pour les fentes. Toutes les fentes seront placées sur un même axe et les trous seront perforés alternativement vers la gauche et la droite, de manière à arroser le plus uniformément possible.

#### 2.2.3.3 Gravier

De granulométrie comprise entre 10 et 20 mm, lavé. La pierre doit avoir une dureté suffisante et être résistante à la désagrégation et à la dissolution. La pierre calcaire n'est pas recommandée, des galets roulés de rivière, criblés à la bonne dimension, peuvent aisément assurer cette fonction de répartition de l'eau.

L'épaisseur minimale de pierre est d'au moins 40 cm, dont 30 cm se trouvent sous la conduite, l'épaisseur recommandée est de 50 cm sous la conduite.

#### 2.2.3.4 Sable

Le sable doit présenter une granulométrie grossière telle que :

- $1 < D_{10} < 3,5$  mm, valeur conseillée de 2,5 mm : on se trouve donc à la limite entre le sable et le gravier très fin;
- $Cu < 2,5$ , idéalement  $Cu = 2$ .

### 2.2.4 Exploitation des filtres à sable non plantés à recirculation

Les vérifications régulières porteront sur :

- les boues accumulées dans le bassin de mélange. Ces boues doivent être vidangées si leur épaisseur dépasse 25 cm. Eventuellement les boues peuvent être pompées vers la fosse septique ou la fosse Imhoff ;
- le fonctionnement des équipements de pompage, de répartition de l'eau sur le filtre et du taux de recirculation ;
- le niveau dans la cuve de mélange ;

Actuellement, la tendance va vers des automates programmables qui commandent divers équipements électromécaniques et qui peuvent être suivis et régulés à distance (via des lignes téléphoniques GSM et des logiciels de télésurveillance).



## 2.2.5 Exemple de calcul

Soit une localité 500 habitants avec une charge hydraulique de 60 l/hab/j et une charge massique de 20 g de DBO<sub>5</sub> en sortie de fosse Imhoff (30% de la charge éliminée par la fosse Imhoff).

### 2.2.5.1 Charges

Charge massique :  $500 \times 15 = 7.500 \text{ g DBO}_5/\text{j}$ .

Charge hydraulique :  $500 \times 60 = 30.000 \text{ l/j}$ .

Surface filtrante :  $\frac{7.500 \text{ g DBO}_5/\text{j}}{25 \text{ g DBO}_5/\text{m}^2 \cdot \text{j}} = 300 \text{ m}^2$ .

Charge hydraulique sans recyclage :  $\frac{30.000 \text{ l/j}}{300 \text{ m}^2} = 100 \text{ mm/j}$ .

Charge hydraulique de pointe sans recyclage :  $100 \text{ mm/j} \times 1,5 = 150 \text{ mm/j}$  ; ok car comprise entre 100 et 200 mm/j.

Taux de recyclage : 5 :1 car effluent fortement chargé ( $15.000 \text{ mg}/60 \text{ l} = 250 \text{ mg/l}$ ).

Cycle de pompage : 72 cycles (1 cycle toutes les 10 minutes).

Temps de pompage par cycle: 3 minutes.

Nombre de sections du filtre : 6 ( $6 \times 50 \text{ m}^2$ ).

Choix de pompage : prévoir deux pompes fonctionnant en parallèle et alimentant les 6 sections alternativement.

Le débit de pompage pour le choix de la pompe sera de :

### 2.2.5.2 Dimensionnement du groupe de pompage :

Débit par cycle :  $\frac{30.000 \text{ l/j} \times 1,5 \times (5 + 1)}{72 \text{ cycles/j} \cdot \text{section} \times 6 \text{ sections}} = 625 \text{ l/cycle}$ .

Débit par pompe =  $(625 \text{ l/cycle}) / (2 \text{ pompes} \times 180 \text{ s/cycle}) = 1,74 \text{ l/s}$  par pompe

Hauteur de relevage : 4 à 5 m : prendre 5 m

Opter pour deux pompes à eaux usées installées en parallèle disposant chacune d'une capacité de relevage de 1,75 l/s à 5 m de hauteur (pompe de  $\pm 2 \text{ KW}$ ).

Puissance installée 4 KW à 220 V = 18 A.

### 2.2.5.3 Dimensionnement des chambres

Chambre de relevage :



- Volume utile :  $30\text{m}^3 / j \times 1,5 j = 45 \text{m}^3$
- Hauteur : 2,5 m
- Surface :  $60/2,5 = 24 \text{m}^2$  (6x4)

Chambre de distribution du bassin filtrant :

- 625 l + une rehausse de 20 cm ;
- Système de répartition dans les 6 bassins : 6 électrovannes installées en parallèle à la sortie de la chambre de distribution et ouvertes en alternance ;
- Bassin filtrant : (l x L x H) : 30 m (6 sections de 5 m de large) x 10 m x 0,6 m =  $180 \text{m}^3$
- Longueurs des drains dispersants : 30 longueurs de 10 m = 300 m + 30 m de tuyaux pour le bouchage dans chaque section ;
- Longueur des conduites d'alimentation : 50 m ;
- Volume du sable filtrant :  $180 \text{m}^3$  ;
- Volume de matériau drainant et dispersant :  $300 \text{m}^2 \times (2 \times 0,3) = 180 \text{m}^3$  ;
- Une chambre de répartition ;
- Une chambre de collecte ;
- Tuyaux de retour vers la chambre de pompage.

## 2.2.6 Conclusions concernant les filtres à sable non plantés à recirculation

Bien que très proche des lits bactériens, les filtres à sable non plantés à recirculation s'intègrent facilement dans le paysage (faible hauteur ou même enterrés) et sont moins exigeants en matériaux et équipements, du fait de l'utilisation d'un sable grossier qui peut être disponible localement et de pompes habituellement utilisées pour le relevage des eaux usées domestiques.

Les eaux usées épurées présentent une  $\text{DBO}_5$  souvent inférieure à 30 mg/l, avec un rabattement de l'azote et des germes pathogènes important, surtout si l'on prévoit une hauteur de sable de l'ordre de 2 m, ce qui peut permettre d'envisager une réutilisation agricole de type A, particulièrement en équipant le dernier mètre du filtre par du sable filtrant (Cf partie I du guide).

Par rapport aux autres techniques extensives, cette solution est plus compacte et moins odorante et s'adapte bien à des effluents concentrés

Elle ne présente pas de surface d'eau libre.



Ce procédé est donc intéressant là où :

- une alimentation électrique est envisageable à un coût abordable,
- les surfaces disponibles manquent et
- une réutilisation agricole de type semble intéressante.

## 2.3 Filtres plantés (Marais artificiels)

### 2.3.1 Présentation des filtres plantés.

Deux techniques sont principalement utilisées pour l'épuration secondaire des eaux usées domestiques : le marais artificiel à écoulement vertical et le marais artificiel à écoulement horizontal. Pour des raisons de simplification du vocabulaire, on parlera de filtre planté à écoulement horizontal ou de filtre planté à écoulement vertical.

Les filtres plantés assurent l'épuration des eaux usées à l'aide d'un massif filtrant de granulométrie moyenne planté généralement de roseaux ou de plantes adaptées à ces conditions de croissance.

### 2.3.2 Les filtres plantés à écoulement vertical

#### 2.3.2.1 Présentation

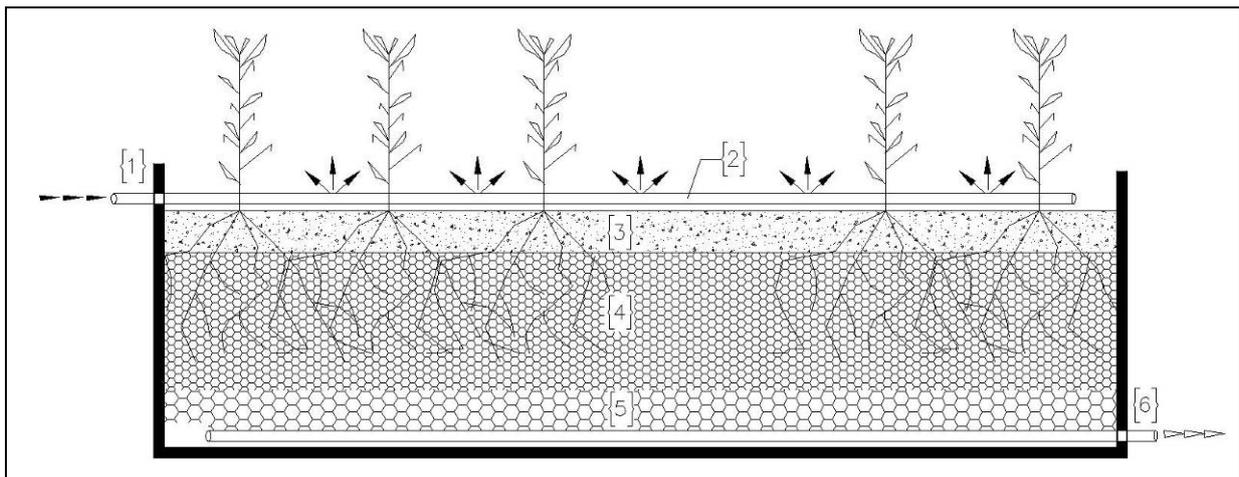


Figure 11 : filtres plantés à écoulement vertical

L'eau usée {1} entre de manière discontinue (bâchées) et est distribuée sur toute la surface du filtre {2} puis s'infiltre au travers d'une fine couche de sable {3} avant de percoler sur du gravier fin {4} et d'être collecté par des drains {6} implantés dans du gravier grossier {5}.

La filière se compose habituellement:

- d'un premier étage de filtres verticaux fonctionnant en alternance avec des périodes de repose importantes,
- d'un second étage de filtres verticaux alimentés par bâchées.

Ces filtres sont souvent des excavations du site d'implantation, étanchées du sol, remplies de couches successives de gravier.



En général, un lit de gravier fin recouvre le lit de gravier moyen afin de ralentir la percolation.

L'influent brut est réparti directement, sans décantation préalable (pas de fosse septique ou de décanteur/digesteur), à la surface du filtre. Il s'écoule à travers le massif filtrant en subissant un traitement physique (filtration), chimique (adsorption, complexion ...) et biologique (biomasse fixée sur support fin).

Au pied du massif filtrant, les eaux épurées sont drainées.

Les filtres sont alimentés en eaux usées brutes par bâchées avec ou sans alternance des surfaces utilisées mais de manière à alterner les phases de fonctionnement et les phases de repos.

Le principe épuratoire repose sur le développement d'une biomasse aérobie fixée sur un sol reconstitué. L'oxygène est apporté par convection, diffusion et par le mouvement de l'eau dans le filtre.

Les périodes d'alternance contribuent à une très faible production de boues. Lorsque le gravier fin superficiel présente des vitesses d'infiltration trop faibles, la couche superficielle colmatée est enlevée (pour être éventuellement lavée) et remplacée par du gravier fin propre.

#### 2.3.2.2 Critères de conception

Cette technique s'inspire fortement des filtres à sable (à forte charge) avec, en plus, la plantation de phragmites (roseaux). Le dimensionnement des filtres verticaux a été établi empiriquement en définissant les charges organiques surfaciques journalières acceptables (de l'ordre de 20 à 25 g DBO<sub>5</sub>). On dimensionne généralement le premier étage une charge à 40 g de DBO<sub>5</sub> m<sup>-2</sup>.j<sup>-1</sup>jour et le deuxième étage utilise le solde de la surface totale. Cet étage est compartimenté en un nombre de filtres multiple de 3, ce qui permet d'obtenir des périodes de repos de 2/3 du temps (1 filtre sur 3 est utilisé).

##### 2.3.2.2.1 Alimentation

L'alimentation se fait par bâchée et doit être supérieure à la vitesse d'infiltration pour bien répartir l'effluent. Les dépôts qui s'accumulent à la surface contribuent à amoindrir la perméabilité intrinsèque du matériau et donc améliorent la répartition de l'effluent. Les végétaux limitent le colmatage de surface, les tiges perçant les dépôts accumulés. Les arrivées d'eau se font en plusieurs points.

L'alimentation est habituellement réalisée pendant 1 jour puis le bassin est au repos durant deux jours.



#### 2.3.2.2.2 Matériau

Le matériau de garnissage du premier étage se compose de plusieurs couches de gravier. La couche active est du gravier présentant une granulométrie de 2 – 8 mm, pour une épaisseur de l'ordre de 40 cm. Les couches inférieures sont de granulométrie intermédiaire (10 – 20 mm) avant d'atteindre une couche de gravier grossiers (granulométrie 20 – 40 mm).

Le deuxième étage affine le 'épuration. Les risques de colmatage sont moindres. Il est composé d'une couche de sable d'une hauteur d'au moins 30 cm du même type que celui utilisé dans les filtres à sable non drainés.

#### 2.3.2.2.3 Evacuation

La couche inférieure de gravier 20 – 40 mm assure le drainage de l'effluent. Les drains en tubes synthétiques, rigides et munis d'entailles larges, sont préférentiellement utilisés car ils sont peu sensibles au colmatage. Chaque drain est relié à une cheminée d'aération.

#### 2.3.2.2.4 Plantation

Théoriquement, plusieurs espèces de plantes peuvent être utilisées (Scirpus spp, Typha ...), mais les roseaux (de type Phragmites australis), par leur résistance aux conditions rencontrées (longue période submergée du filtre, périodes sèches, fort taux de matières organiques), et la rapide croissance du chevelu de racines et rhizomes, sont les plus souvent utilisés dans les climats tempérés. La densité de plantation est d'environ 4 plants/m<sup>2</sup>.

#### 2.3.2.2.5 Relief

Un dénivelé de l'ordre de 3 à 4 mètres entre les points amont et aval permet d'alimenter les filtres par gravité (siphons ne nécessitant aucun apport d'énergie). Il est cependant nécessaire de maintenir une alimentation par bâchées.

#### 2.3.2.3 Exploitation

La maintenance de ces systèmes nécessite un suivi particulier, elle contraint l'exploitant à réaliser des passages fréquents et réguliers et à assurer une série d'opérations dont les principales sont énumérées dans la liste ci-dessous :

- Nettoyage du dégrilleur et inspection du système d'alimentation ;
- Désherbage manuel des adventices [11]. Une fois la prédominance établie, cette opération n'est plus nécessaire ;



- Faucardage et évacuation des roseaux pour éviter leur accumulation à la surface des filtres. Dans le but de réduire le temps d'entretien, les roseaux peuvent éventuellement être brûlés si l'étanchéité n'est pas réalisée par une géomembrane, et si les tuyaux d'alimentation sont en fonte ;
- Nettoyage du siphon d'alimentation du premier étage au jet d'eau sous pression ;
- analyses régulières de nitrates dans l'effluent permettent de donner une indication sur la santé de la station ;
- Nettoyage des bassins ;
- Vérification régulièrement du bon fonctionnement des appareils électromécaniques;
- Manœuvre des vannes ;
- Tenue d'un cahier d'entretien notant toutes les tâches effectuées, les mesures de débit (canal débitmétrique, temps de fonctionnement des pompes), pour une bonne connaissance des flux. Cela permet en outre de produire des bilans de fonctionnement ;
- Surveillance régulière de l'uniformité de la répartition des eaux usées.

#### 2.3.2.4 Conclusion

Actuellement cette solution est de moins en moins utilisée. En effet, l'uniformité de la distribution de l'eau dans les différents filtres joue un rôle crucial. Elle exige des équipements (deux systèmes de distribution par bâchées) et un suivi particulier, peu compatibles avec une utilisation décentralisée en zone rurale.

Les rendements épuratoires et les surfaces utilisées sont similaires aux filtres à sables à recirculation.

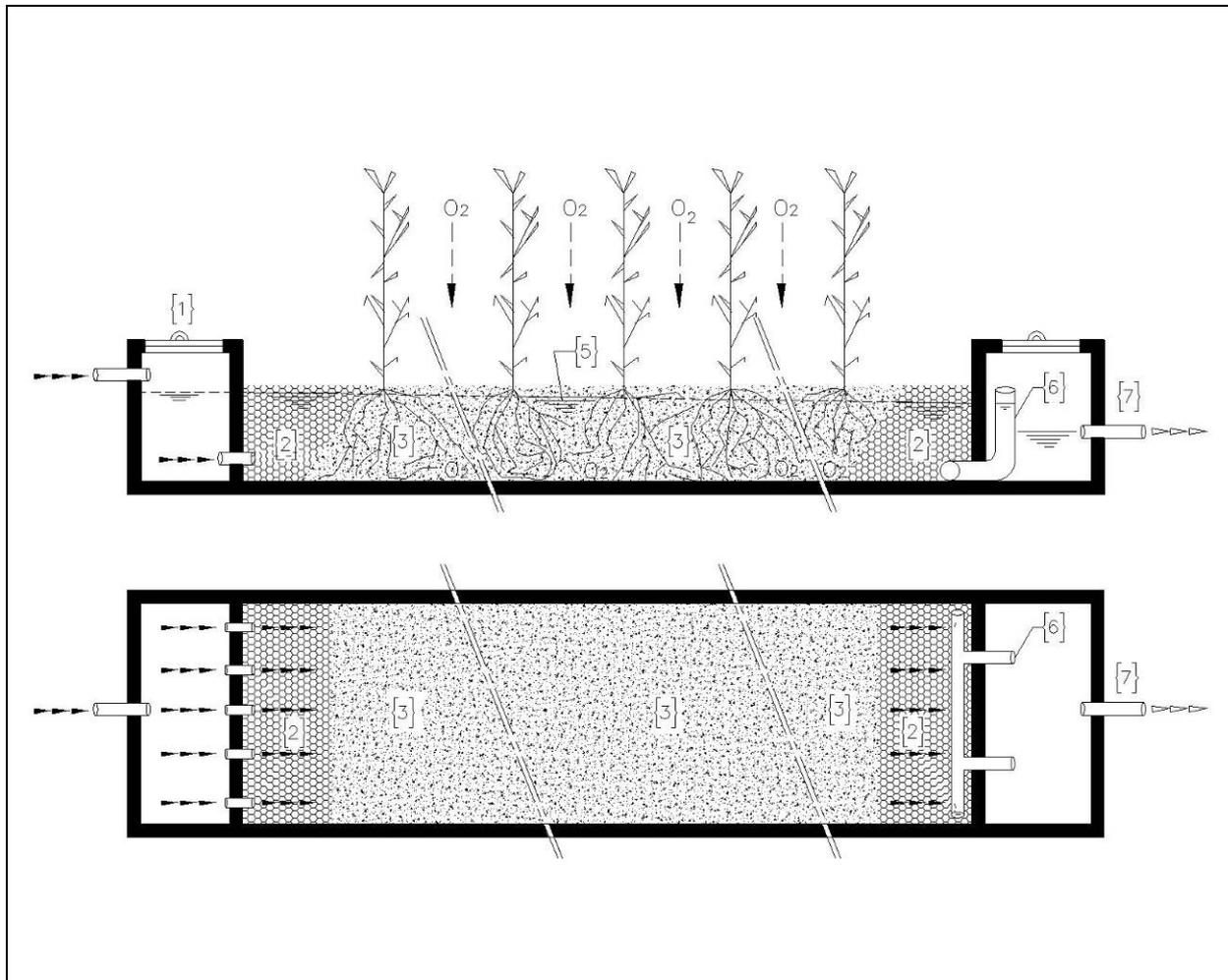
Un manque de surveillance peut conduire :

- à une mauvaise répartition de l'eau usée sur le filtre ;
- au colmatage précoce du matériau filtrant ;
- à la stagnation d'eaux usées en surface des filtres, permettant la prolifération des moustiques ;

Ce qui rend ce procédé peu approprié à l'épuration des eaux usées des collectivités rurales du Maroc.

## 2.3.3 Filtre planté à écoulement horizontal

### 2.3.3.1 Présentation des filtres plantés à écoulement horizontal



**Figure 12 : schéma des filtres plantés à écoulement horizontal**

L'eau usée arrive dans la chambre de distribution {1}, elle pénètre uniformément dans le filtre planté au travers du gravier grossier {2}, s'écoule au travers de la zone plantée constituée de gravier fin {3} puis est collectée sur toute la largeur du filtre au niveau du drain {6}. Le niveau d'eau {5} se trouve toujours minimum 5 cm en dessous de la surface de gravier et est réglé à l'aide du coude de sortie {6}.

L'épuration est assurée par des bactéries, aérobies en surface, facultatives à faible profondeur et anaérobies à partir de 20 – 30 cm de profondeur.

L'exploration racinaire et la particularité de certains roseaux à disposer de canaux aérifères au niveau de leurs racines permettent également l'existence de « micro-sites » aérobies, même à la profondeur maximale.



La cohabitation des racines et des bactéries permet également le développement de relations de symbiose favorisant une activité intense des bactéries et de la croissance végétale. La cueillette régulière des roseaux permet également un rabattement de l'azote ; ceux peuvent ensuite être revendus ou utilisés pour des travaux de vannerie.

Dans les filtres à écoulement horizontal, le massif filtrant est saturé en eau mais la surface d'eau reste sous le niveau supérieur du massif filtrant. L'effluent est réparti sur toute la largeur et la hauteur du lit par un système répartiteur situé à une extrémité du bassin. Il s'écoule ensuite dans un sens principalement horizontal au travers du substrat.

Par ailleurs, la couverture végétale réduit l'impact visuel et olfactif de la station d'épuration et l'épaisseur de gravier au dessus du niveau d'eau permet d'éviter la prolifération d'insectes.

L'évacuation se fait par un drain placé à l'extrémité opposée du lit, au fond et enterré dans une tranchée de pierres. Ce tuyau est relié à un siphon permettant de régler la hauteur de surverse, et donc celle de l'eau dans le lit. Le niveau d'eau doit être maintenu environ à 5 cm sous la surface du matériau.

L'interface entre les racines des plantes et l'eau à épurer présente des caractéristiques particulières avec un apport en oxygène par les racines jusqu'aux zones les plus profondes du bassin. C'est pourquoi, il est utile d'abaisser périodiquement le niveau d'eau afin de forcer l'exploration racinaire en dessous des trente premiers centimètres immergés.

#### 2.3.3.2 Prétraitement des filtres plantés à écoulement horizontal

Les filtres plantés à écoulement horizontal sont implantés après une fosse septique ou une fosse Imhoff, permettant de réduire la matière en suspension qui risque de colmater le filtre.

#### 2.3.3.3 Dimensionnement des filtres plantés à écoulement horizontal

Plusieurs approches de la charge massique sont développées dans la littérature ([11], [25], [21], [26]). Elles se basent régulièrement sur une analyse empirique de procédés existants. Aux Etats-Unis ([21], [26]), la cinétique de dégradation a été mise en équation. Cette approche permet d'évaluer l'incidence de la température et du niveau de rabattement de la charge sur les dimensions du filtre.

Un filtre planté est dimensionné pour répondre à deux critères :

- rabattre la pollution organique au niveau attendu ;



- assurer l'écoulement de l'eau, pour les débits de pointe, sans que l'eau ne dépasse le niveau supérieur du massif filtrant.

### Dimensionnement du rabattement de la charge organique

Le rabattement de la charge organique est donné par :

$$\frac{C_e}{C_o} = e^{(-K_T t)}$$

$C_o$

avec :

$C_e$  : Concentration de l'effluent (sortie) exprimée en mg/l de DBO<sub>5</sub>.

$C_o$  : Concentration de l'affluent (entrée) exprimée en mg/l de DBO<sub>5</sub>.

$K_T$  : Constante de cinétique =  $K_{20} \cdot 1,06 (T - 20)$  avec  $K_{20} = 1,1$ .

$t$  : temps de séjour hydraulique.

$T$  : température de l'eau à épurer.

Les valeurs de  $K_{20}$  données dans la bibliographie oscillent entre 1,104 et 1,385. Plus la concentration de l'affluent est élevée, plus la constante serait élevée. Cependant la valeur la plus fréquemment utilisée pour le dimensionnement reste 1,1.

Une valeur de 1,385 a été reprise dans la bibliographie [26] pour une concentration entrante de 145 mg/l. Elle pourrait être utilisée dans le cas de l'assainissement des collectivités rurales marocaines dont les effluents, après prétraitement devraient avoisiner les 300 mg/l de DBO<sub>5</sub>. Cependant, tant que cette valeur n'est pas vérifiée en pratique, il reste conseillé d'opter pour la valeur de 1,1.

Les valeurs du Tableau 3 reprennent les valeurs de  $t$  pour 5 cas de concentrations en entrée et en sortie, en fonction de la température de l'eau.



Simulation des temps de séjour en fonction des concentrations entrante et sortante pour une eau à 5 °C					
Concentrations entrantes	Concentrations sortantes				
	15,0	30,0	50,0	75,0	100,0
350,0	6,9	5,4	4,2	3,4	2,7
300,0	6,5	5,0	3,9	3,0	2,4
250,0	6,1	4,6	3,5	2,6	2,0
200,0	5,6	4,1	3,0	2,1	1,5
150,0	5,0	3,5	2,4	1,5	0,9
Simulation des temps de séjour en fonction des concentrations entrante et sortante pour une eau à 10 °C					
Concentrations entrantes	Concentrations sortantes				
	15,0	30,0	50,0	75,0	100,0
350,0	5,1	4,0	3,2	2,5	2,0
300,0	4,9	3,7	2,9	2,3	1,8
250,0	4,6	3,5	2,6	2,0	1,5
200,0	4,2	3,1	2,3	1,6	1,1
150,0	3,7	2,6	1,8	1,1	0,7
Simulation des temps de séjour en fonction des concentrations entrante et sortante pour une eau à 15 °C					
Concentrations entrantes	Concentrations sortantes				
	15,0	30,0	50,0	75,0	100,0
350,0	3,8	3,0	2,4	1,9	1,5
300,0	3,6	2,8	2,2	1,7	1,3
250,0	3,4	2,6	2,0	1,5	1,1
200,0	3,2	2,3	1,7	1,2	0,8
150,0	2,8	2,0	1,3	0,8	0,5
Simulation des temps de séjour en fonction des concentrations entrante et sortante pour une eau à 20 °C					
Concentrations entrantes	Concentrations sortantes				
	15,0	30,0	50,0	75,0	100,0
350,0	2,9	2,2	1,8	1,4	1,1
300,0	2,7	2,1	1,6	1,3	1,0
250,0	2,6	1,9	1,5	1,1	0,8
200,0	2,4	1,7	1,3	0,9	0,6
150,0	2,1	1,5	1,0	0,6	0,4

**Tableau 3 : temps de séjour pour des filtres plantés horizontaux en fonction de la température de l'eau et du niveau d'épuration**

Sur base de cette simulation, un temps de séjour de 3 jours permet un rejet en dessous de 100mg/l dans la majorité des cas et de 50 mg/l dès que la température de l'eau dépasse 10°C, pour des eaux en sortie de fosse septique de 200 à 300 mg/l.

Cette valeur du temps de séjour de 3 j est nettement inférieur à celle généralement retenue par les filtres plantés fonctionnant en Europe. Cette différence s'explique par



les objectifs de dépollution et la température des eaux usées en Europe. En effet si on opte pour un rejet ayant une  $DBO_5 < 30$  mg/l pour de température de  $5^\circ\text{C}$  on obtient des temps de séjour de 5 jours qui correspondent aux valeurs de dimensionnement européennes.

### Vérification des aptitudes hydrauliques

Pour un temps de séjour de 3 jours la conductivité hydraulique du massif filtrant peut constituer le facteur limitant. Il est donc conseillé d'opter pour un gravier de rivière roulé, d'une granulométrie la plus homogène possible dans la gamme 2 – 15 mm.

L'estimation de la conductivité hydraulique pour de l'eau claire peut être approchée par la formule suivante :

$$K = C d_{10}^2$$

avec :

- $K$  = Conductivité hydraulique cm/s ;
- $C$  = 25 à 150 (variable selon le matériau) ;
- $d_{10}$  = diamètre efficace (cm) = diamètre de la maille du tamis permettant le passage de 10% de la masse du gravier. les valeurs de  $C$  habituellement utilisées sont de :
  - 150 pour les sables grossiers ;
  - 50 pour les sables fins et silts ;
  - 25 pour les graviers et cailloux.

Du fait du colmatage progressif, de l'envahissement par les racines et de la nature de l'eau s'écoulant au sein du massif, il est recommandé [22] de dimensionner le filtre en considérant une valeur correspondant à 10% de l'estimation de la conductivité pour de l'eau claire.

Le Tableau 4 donne les valeurs de conductivité à prendre en considération lors de cette vérification.



D <sub>10</sub> du gravier (cm)	Conductivité hydraulique estimée			Cond. hydraulique de dimensionnement
	cm/s	m/s	m/j	m/j
0,2	1	1,0E-02	846	85
0,3	2,25	2,3E-02	1.904	190
0,4	4	4,0E-02	3.384	338
0,5	6,25	6,3E-02	5.288	529
0,6	9	9,0E-02	7.614	761
0,7	12,25	1,2E-01	10.364	1.036
0,8	16	1,6E-01	13.536	1.354
0,9	20,25	2,0E-01	17.132	1.713
1	25	2,5E-01	21.150	2.115
1,1	30,25	3,0E-01	25.592	2.559
1,2	36	3,6E-01	30.456	3.046

**Tableau 4 : conductivité hydraulique du gravier pour les filtres plantés horizontaux**

La porosité généralement considérée pour le gravier fin est de 35% .

La vérification de la conductivité du matériau filtrant est primordiale lorsqu'on opte pour des temps de séjour aussi court.

#### Configuration du filtre

La pente de fond de filtre idéale est comprise entre 1 et 2%.

La largeur du filtre est déterminée par la loi de Darcy :

$$S \text{ (m}^2\text{)} = [ Q \text{ entrée (m}^3\text{/j) } ] / [ \text{Conductivité hydraulique (m/j) x pente } (\Delta H/\Delta L) ]$$

Avec une profondeur du filtre comprise entre 0,5 et 0,6 m.

Les deux exemples de calcul qui suivent mettent en évidence l'impact de la conductivité hydraulique sur les dimensions du filtre.

Le calcul hydraulique est réalisé à partir du débit journalier de pointe (Cf chapitre présentant le prétraitement).



#### 2.3.3.4 Plantations

Les filtres horizontaux seront de préférence plantés de *Phragmites australis* ou *communis*.

Des roseaux disposant de canaux aérifères contribuent à améliorer l'épuration par un apport d'oxygène en profondeur.

Lors de l'installation, une densité de 4 plants/m<sup>2</sup> est conseillée. Les plants arrivés à maturité sont enlevés (en laissant les rhizomes dans le massif filtrant) et commercialisés.

#### 2.3.3.5 Conditions d'installation des filtres plantés à écoulement horizontal

Le site doit préférentiellement être implanté sur une surface de faible pente, de l'ordre de 1 à 2%.

Un dénivelé de 0,5 à 1 mètre entre le point d'alimentation de la future station et l'aval permet d'alimenter les filtres par gravité. Le dénivelé requis n'est pas très important en raison de l'écoulement horizontal.

Si le sol est argileux, l'étanchéité naturelle peut être atteinte par simple compactage (perméabilité requise 10<sup>-8</sup> m/s). Dans le cas contraire, la pose d'une géomembrane peut nécessaire.

Le système ne dégage pas de mauvaises odeurs, ne permet pas le développement de moustiques et ne présente pas de surface d'eau libre. Il peut donc être installé à proximité des zones habitées, sans localisation particulière par rapport aux vents dominants.

#### 2.3.3.6 Alimentation des filtres plantés à écoulement horizontal

Le système est alimenté en continu et ne nécessite aucune régulation du fait du volume tampon important. Par contre l'eau doit être uniformément répartie sur toute la largeur du filtre.

Dans le cas de filtres plantés à forte charge biologique (15 g de DBO<sub>5</sub>/m<sup>2</sup>.j), les risques de colmatage dans le premier tiers du filtre sont à craindre, engendrant des écoulements préférentiels et une réduction du temps de séjour réel.

Dans ce cas, il peut être opportun d'opter pour une largeur d'écoulement surdimensionnée.

#### 2.3.3.7 Exploitation

La maintenance et le suivi des filtres plantés à écoulement horizontal est peu exigeant mais demande des interventions régulières :



- du niveau d'eau afin de la maintenir 5 à 10 cm sous la surface du gravier ;
- du système de distribution de l'eau afin de maintenir une répartition uniforme de l'affluent sur toute la section du filtre ;
- du massif filtrant afin de le débarrasser des plantes adventives et de couper régulièrement les cannes arrivées à maturité ;
- faire fonctionner le filtre, durant quelques semaines – si possible au début de l'été – le filtre à un niveau d'eau inférieur afin de forcer les roseaux à développer des racines profondes ;
- ...

Des entretiens exceptionnels tels que le nettoyage du massif filtrant ou du gravier de distribution sont également indispensables au maintien des performances du filtre. Ceux-ci ont généralement lieu après 5 ou 10 ans de fonctionnement. Afin de maintenir une épuration durant ces entretiens, il est conseillé d'opter au minimum pour deux modules fonctionnant en parallèle.

#### 2.3.3.8 Exemple de calcul :

Soit un débit à traiter de 30 m<sup>3</sup>/j à une charge de 300 mg/l de DBO<sub>5</sub> (rabattement préalable par le traitement primaire).

Q moyen : 30 m<sup>3</sup>/j.

Charge organique à l'entrée : 30 m<sup>3</sup>/j x 300 g/m<sup>3</sup> = 9.000 g/j.

Concentration à l'entrée : 300 mg/l.

Concentration à la sortie : 50 mg/l.

Température de l'eau en période froide : 10°C.

Temps de séjour retenu (Cf. tableaux) : 3 j.

Débit de dimensionnement : 45 m<sup>3</sup>/j.

Porosité du matériau filtrant : 35%.

d<sub>10</sub> du matériau filtrant : 5 mm, soit une conductivité hydraulique de 529 m/j (Cf. Tableau 4)

Profondeur efficace du matériau filtrant : 50 cm.

Pente du fond du filtre : 1%.

#### 1. Rabattement de la charge organique :

- Volume du matériau filtrant : 3j x 30 m<sup>3</sup>/j / (35%) = 257 m<sup>3</sup> ≅ 260 m<sup>3</sup>

#### 2. Dimensionnement hydraulique :

- Section minimum du filtre :  $45 \text{ m}^3/j / (529 \text{ m/j} \times 1\%) = 8,6 \text{ m}^2 \cong 9 \text{ m}^2$
- Largeur minimum du filtre :  $9 \text{ m}^2 / (0,5 \text{ m}) = 18 \text{ m}$
- Longueur maximum du filtre :  $\underline{260 \text{ m}^3} / (\underline{18} * 0,5 \text{ m}^2) = 28,8 \text{ m} \cong 30 \text{ m}$

Vérification de la valeur guide :

Charge organique :  $(\underline{9.000 \text{ g/j}}) / 520 \text{ m}^2 = 17 \text{ g/m}^2$ .  $j$  = valeur très élevée (Attention aux risques de colmatage sur le premier tiers du filtre, ou préférer une profondeur de 0,4 m afin de retomber à des valeurs inférieures à  $15 \text{ g/m}^2 \cdot j$  de  $\text{DBO}_5$ ).

### 2.3.3.9 Plan type d'un filtre planté à écoulement horizontal

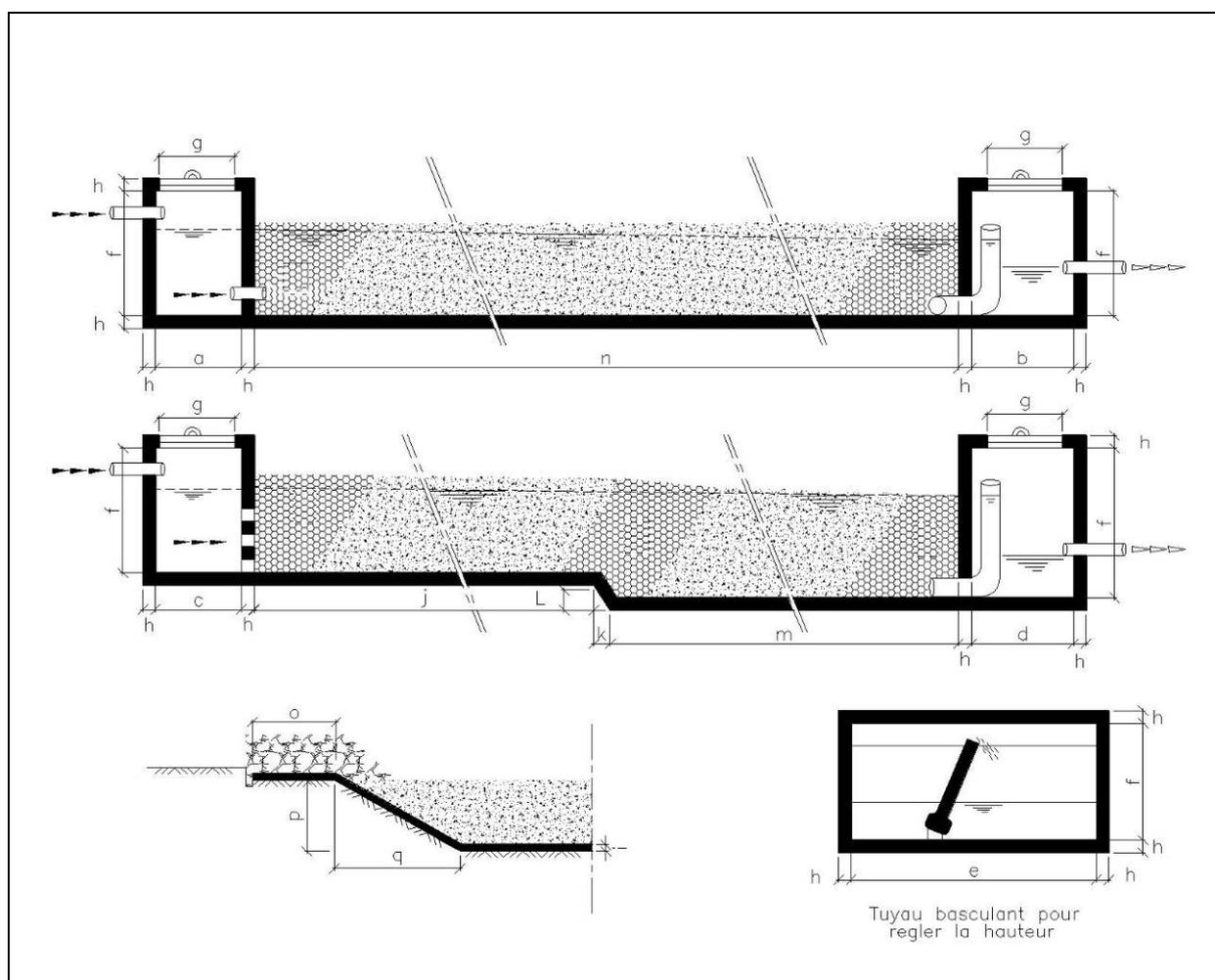


Figure 13 : plan type d'un filtre planté horizontal

### 2.3.3.10 Conclusions sur les filtres plantés à écoulement horizontal

Les filtres plantés horizontaux constituent une solution intéressante de l'épuration des eaux usées provenant des collectivités rurales. Cette solution ne demande pas



d'équipement électromécanique pour autant que la disposition topographique permette une alimentation gravitaire.

L'absence de surface d'eau libre évite les risques de prolifération des moustiques et permet une implantation proche des zones d'habitation sans risque particulier.

Les plantations assurent une intégration paysagère aisée et peuvent même être une source de revenu et de développement d'activités artisanales puisque que la canne de roseau est exploitée dans la construction en torchis et la fabrication de panier et autres ustensiles domestiques. La possibilité de tirer un revenu de la cueillette des roseaux constitue également un avantage en terme de maintenance car il est alors plus facile d'intéresser les usagers à la maintenance et au bon fonctionnement de l'installation.

Cette solution sera particulièrement intéressante sur des sols peu perméables, là où les solutions de l'épuration par le sol ne sont pas envisageables.



## CHAPITRE 4 : SYSTÈMES INTENSIFS

### 1. Systèmes aérobies intensifs à biomasse libre

Le procédé d'épuration par boues activées est un procédé d'épuration biologique à culture en suspension, le mélange de l'eau à épurer et des micro-organismes en suspension assurant l'épuration est appelé liqueur mixte.

Les systèmes de boues activées sont le plus souvent conçus pour être exploités en mode continu avec un réacteur biologique, un décanteur secondaire et des équipements de retour des boues du décanteur secondaire vers le réacteur. Ils peuvent aussi être conçus pour être exploités en mode séquentiel, c'est le procédé à réacteur biologique séquentiel (RBS), une période étant réservée à la décantation directement dans le réacteur.

Certaines variantes par boues activées sont conçues pour permettre un enlèvement biologique des nutriments (phosphore et azote). Ces variantes sont plus complexes à concevoir et à exploiter et sortent du cadre de ce manuel.

Le choix des boues activées n'est pas recommandé pour des applications où les eaux usées sont diluées ou là où des débits importants d'eaux claires parasitent le réacteur, particulièrement dans le cas de systèmes de très petite capacité.

#### 2.1 Boues activées à recirculation

##### 2.1.1 Présentation

Dans le cas des installation de petite taille, il est constitué d'un décanteur primaire, d'un réacteur biologique dans lequel les eaux usées sont mélangées avec une biomasse aérée est maintenue en suspension. Le substrat contenu dans les eaux usées permet la multiplication et le développement des micro-organismes contenus dans la biomasse. La biomasse est ensuite séparée par décantation et une partie de cette biomasse est recyclée dans le réacteur.

La biomasse excédentaire est continuellement extraite du système et constitue les boues secondaires.

Le principe de fonctionnement d'une station d'épuration par boue activée à recirculation est repris dans le schéma ci-dessous.

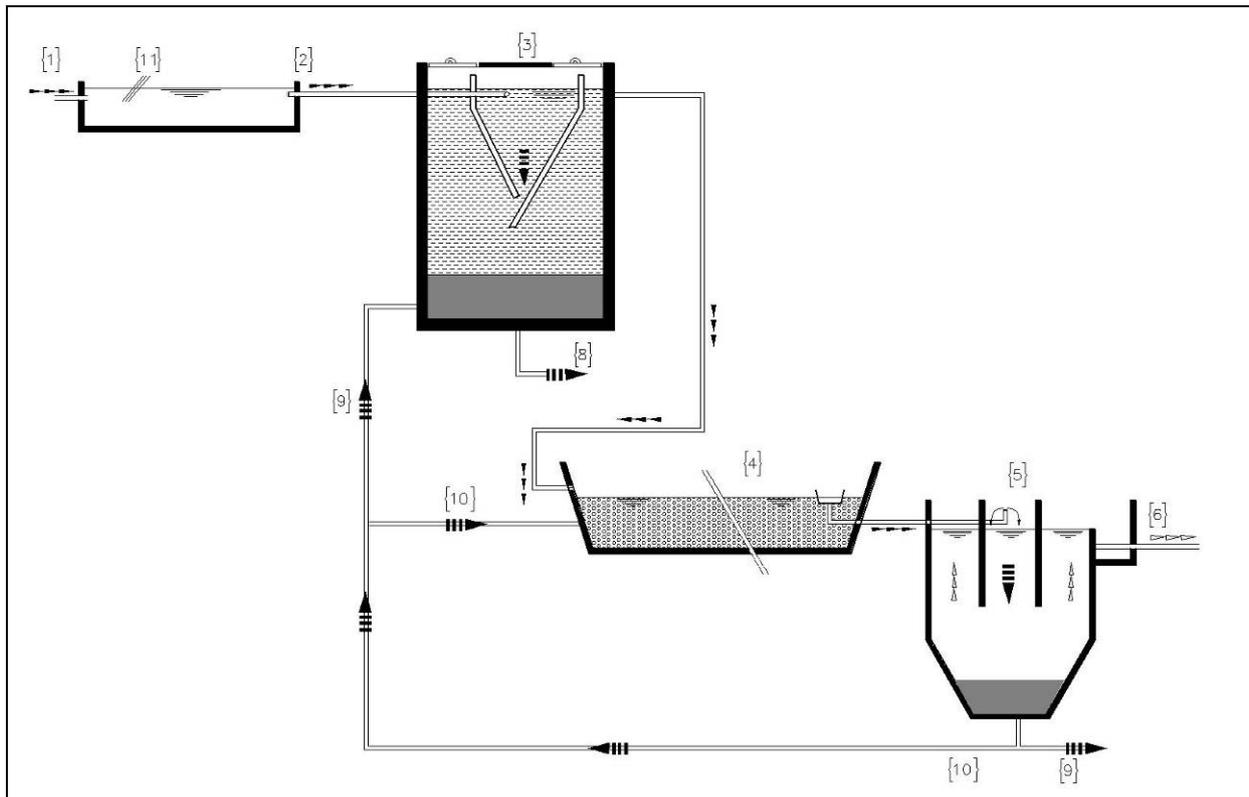


Figure 14 : schéma de principe d'épuration par boues activées avec recirculation<sup>2</sup>

L'eau usée {1} passe au travers d'un dégrilleur {11} pour ensuite être acheminé vers le décanteur primaire {3} (qui peut être remplacé par les fosses septiques des particuliers dans le cas du réseau décanté) puis vers le réacteur biologique riche en microorganismes (liqueur mixte) {4} et disposant d'un système d'aération assurant l'apport en oxygène et le brassage de l'eau. Celle-ci est ensuite décantée {5}. L'eau clarifiée est rejetée {6} tandis que l'autre est recyclée dans le réacteur biologique {10}. Les boues excédentaires sont stockées vers la fosse Imhoff {9} (si elle est implantée) ou vers le lit de séchage avant mise en décharge ou valorisation agricole.

Ce procédé est peu approprié aux déversements irréguliers, comportant des périodes de faibles charges ou d'absences de charges susceptibles d'entraîner une détérioration de la biomasse et un mauvais fonctionnement de la station.

<sup>2</sup> Le dégrillage n'est pas nécessaire dans les cas d'une collecte séparative ou de réseaux simplifiés ou décantés.



## 2.1.2 Conception des boues activées avec recirculation

Pour les très petites stations d'épuration, inférieures à 300 habitants, l'usage d'un réseau séparatif s'avère souvent indispensable. Pour de plus grandes tailles, les réseaux pseudo-séparatifs ou unitaire sont envisageables.

### 2.1.2.1 Dégrillage/décantation primaire

Les systèmes de petite taille d'épuration par boues activées à recirculation doivent idéalement être précédés d'un dégrillage et d'une décantation primaire dans le cas d'un réseau d'égout unitaire et d'une décantation primaire dans le cas d'un réseau séparatif.

Dans le cas de petites unités les systèmes de dégrillage sont très sommaires. Par contre les décanteurs primaires jouent un double rôle, celui d'éliminer les matières facilement sédimentables (sable, pierres, une partie de la MES,..) et celui d'assurer une homogénéisation des eaux avant leur épuration biologique.

Une décantation par fosse Imhoff est préconisée afin de conserver un effluent « frais » et peu odorant. Si les boues de décantation secondaires sont stockées dans le décanteur secondaire, le volume de stockage des boues sera adapté.

### 2.1.2.2 Réacteur biologique

Le dimensionnement du réacteur biologique permet :

- un temps de séjour suffisant pour assurer la dépollution ;
- une concentration en micro-organismes suffisante pour assurer la dépollution ;
- le maintien de micro-organismes relativement jeunes car ils décantent plus facilement dans le processus de clarification et consomment moins d'oxygène par quantité de matière organique éliminée ;
- disposer d'assez d'oxygène pour permettre la croissance des micro-organismes.

D'une manière simplifiée, il est utile de retenir que :

- les dimensions du réacteur, le taux de recyclage des boues, la production de boues et les équipements d'aération dépendent fortement de la concentration en charge polluante à l'entrée, il est donc utopique de chercher à dimensionner une station d'épuration par boues activées sans avoir défini la typologie des eaux usées à épurer ;
- l'âge des boues dans la liqueur mixte ne peut excéder 40 jours ;
- la DBO à l'entrée est d'au moins 100mg/l (trop de dilution nuit) ;
- la charge volumique n'excède pas 0,35 kg de DBO<sub>5</sub>/m<sup>3</sup>. j ;



- la charge massique avoisine 0,1 kg de DBO<sub>5</sub>/kg MVS . j ;
- la concentration en boues activées avoisine 4 g de MS/l.

### 2.1.2.3 Système d'aération

Les calculs du système d'aération sont basés sur les besoins en oxygène en conditions réelles, il y a lieu d'assurer des conditions de mélange suffisantes pour permettre une bonne répartition de l'oxygène dissous et le maintien des matières en suspension dans la liqueur mixte. Plus l'eau est chaude plus le transfert d'oxygène est coûteux (taille des équipements et consommation énergétique).

Les besoins en oxygène comprennent la demande carbonée et la demande azotée.

Un facteur de pointe d'au moins 2 est généralement appliqué à la charge en DBO<sub>5</sub> pour calculer la capacité maximale du système d'aération. Un facteur plus élevé peut être requis en fonction de conditions particulières d'alimentation (abattage hebdomadaire d'animaux, restaurants, ...).

Plusieurs types d'équipements d'aération différents peuvent être utilisés, qu'il s'agisse de diffuseurs poreux, de diffuseurs non poreux, de jets, d'aérateurs mécaniques de surface ou autres. Quelque soient les équipements considérés, le taux de transfert d'oxygène de ceux-ci se base sur des résultats d'essais de rendement en conditions normalisées.

La concentration minimale en oxygène dissous à maintenir dans les bassins est d'environ 2 mg/L en conditions moyennes et de 0,5 mg/L en conditions de pointe

En plus il y a lieu de vérifier si la capacité du système d'aération est suffisante pour assurer des conditions adéquates de mélange dans les bassins. Les valeurs citées à cette fin dans la littérature sont :

- 1 Nm<sup>3</sup>/h par m<sup>3</sup> de bassin, pour un système de diffusion d'air réparti uniformément sur la superficie du bassin;
- 20 à 40 kw installés par 1000 m<sup>3</sup> de bassin, pour des aérateurs mécaniques.

Dans la mesure où l'aération constitue un élément fondamental du système épuratoire, il est utile de prévoir un surpresseur de réserve ou de disposer d'un contrat de maintenance avec remplacement en cas de panne. Les diffuseurs doivent être facilement accessibles ou amovibles pour en permettre l'entretien.

### 2.1.2.4 Clarificateur (décanteur secondaire)

La biomasse produite dans le réacteur biologique est normalement séparée de l'effluent au moyen d'un décanteur par gravité, bien que dans certains cas cela peut



se faire par flottation à air dissous ou encore par membrane dans certaines nouvelles technologies.

Les principaux critères de conception d'un décanteur secondaire sont le taux de charge hydraulique à débit moyen et à débit maximal, le taux de charge massique, la profondeur minimale et le taux de débordement.

Les vitesses maximales généralement recommandées sont les suivantes :

- à Q moyen : 0,33 à 0,66 m/h
- à Q maximal : 1 à 1,5 m/h

Le taux de charge massique maximal recommandé est de 100 à 150 kg/m<sup>2</sup>.j.

Le cône dans lequel sont recueillies les boues décantées présente des pentes importantes, formant un angle de 30 à 40° avec la verticale.

Le déversement maximal recommandé est de 125 à 150 m<sup>3</sup>/j par mètre linéaire de déversoir. La lame de déversoir est placée de manière à ne pas créer des zones d'écoulement préférentiel. Elles seront idéalement réparties en périphérie du bassin de décantation et dans la zone la plus éloignée du point d'entrée.

Le dispositif d'entrée est conçu pour dissiper l'énergie, assurer une bonne distribution du débit, prévenir les courants préférentiels, éviter de perturber le voile de boues et favoriser la floculation.

Dans le cas d'un décanteur circulaire à alimentation centrale, le puits d'entrée occupe de 25 à 30 % du diamètre du décanteur.

Les clarificateurs secondaires sont conçus de façon à permettre une bonne reprise des boues et empêcher que celles-ci séjournent trop longtemps dans le décanteur.

Un dispositif de captage des matières flottantes et des écumes est également souhaitable.

#### 2.1.2.5 Bassins des boues

Les équipements de recirculation des permettent un ajustement du débit de recirculation en fonction des conditions d'exploitation. Les débits de recirculation sont souvent équivalents au débit d'entrée de la station d'épuration.

#### 2.1.2.6 Extraction des boues

Les boues en excès doivent être extraites de la chaîne liquide. L'extraction des boues peut se faire à partir du décanteur, de la conduite de recirculation des boues ou encore directement de la liqueur mixte du bassin d'aération.



On considère en général une production de 0,8 kg de MS/kg DBO<sub>5</sub> éliminée au niveau du réacteur d'épuration secondaire.

Dans de grandes stations d'épuration, ces boues sont généralement stockées dans un épaisseur puis dans une cuve de stockage (à une concentration avoisinant 30 mg MS/l), par contre, dans le cas de petits systèmes, ces boues retournent vers le décanteur primaire pour y être stockées.

### 2.1.3 Exploitation

Les ouvrages et équipements de prétraitement nécessitent un suivi et une maintenance réguliers, exigeant la présence de l'exploitant quelques heures tous les deux à trois jours.

L'inspection fréquente des eaux usées dans les étapes de l'épuration préalables permet également de détecter les problèmes liés aux autres apports d'eaux usées (déversements illicites, dilution excessive, affluent septique).

Le bon fonctionnement du système d'aération nécessite des inspections visuelles, des mesures d'oxygène dissous, l'entretien régulier de tous les équipements (soufflantes, vannes, diffuseurs, aérateurs mécaniques) ainsi que les ajustements du débit d'air ou de la durée des phases d'aération.

Le maintien d'une masse biologique adéquate inclut la concentration de la liqueur mixte, le taux de recirculation, la masse extraite (extraction des boues) ainsi que la qualité de la biomasse.

La qualité de la biomasse peut être vérifiée régulièrement en mesurant l'indice de volume de boues ou indice de bassins et en observant les indices visuels comme la couleur de la liqueur mixte, la présence et les caractéristiques de la mousse, l'état de floculation ou autres.

Des observations microscopiques occasionnelles de la liqueur mixte peuvent s'avérer un atout important pour diagnostiquer les faiblesses du procédé et permettre de faire les ajustements nécessaires.

Les vérifications à effectuer pour la décantation secondaire comprennent le fonctionnement adéquat des équipements mécaniques tels les racleurs de fond et d'écume, les problèmes hydrauliques, la reprise des boues, la présence anormale de matières flottantes, d'un voile de boues élevé ou d'une défloculation, l'ajustement des déversoirs et leur nettoyage lorsque requis.

Il y a lieu de s'assurer aussi de l'adéquation du taux de recirculation de boues, de la fréquence et du taux d'extraction de boues, à la charge du système. Tout bouchage ou autre problème de recirculation de boues doit être réglé sans délai. La chaîne de boues nécessite la même attention que la chaîne liquide.



En effet, une mauvaise gestion des boues entraîne très souvent des dysfonctionnements importants au niveau de la liqueur mixte.

L'entretien général des lieux, des bâtiments, des ouvrages et des équipements contribuent également à la qualité de l'épuration.

Les recommandations d'exploitation ci-dessus ne sont pas exhaustives. Il est préconisé que le concepteur de la station prépare le manuel d'exploitation complet, adapté aux équipements installés. Ce manuel présentera également les actions correctives à mener pour les principaux dysfonctionnement généralement constatés.

#### **2.1.4 Conclusion**

Ces différentes considérations d'exploitation, conjointes à la nécessité d'aérer (de l'ordre de 6 à 8 Kw.h/kg d'O<sub>2</sub> transféré) conduisant à ne pas recommander ce type de technique pour l'assainissement des collectivités rurales.

## 2.2 Boues activées à réacteurs biologiques séquentiels (RBS)

### 2.2.1.1 Présentation

Les RBS constituent une variante particulière de procédé par boues activées. Les mêmes principes de base tels la formation d'une biomasse en suspension, la concentration de celle-ci dans un réacteur biologique et la séparation de la biomasse et de l'effluent traité s'appliquent aux RBS, de sorte que les mêmes modèles et paramètres cinétiques peuvent être utilisés, en intégrant des adaptations nécessaires pour tenir compte du fonctionnement cyclique (les boues activées à recirculation fonctionnent en continu). Dans cette variante, la décantation de la biomasse s'effectue directement dans les bassins d'aération plutôt que dans un décanteur séparé. Le procédé fonctionne en mode discontinu selon une séquence comprenant essentiellement les phases reprises à la figure ci dessous:

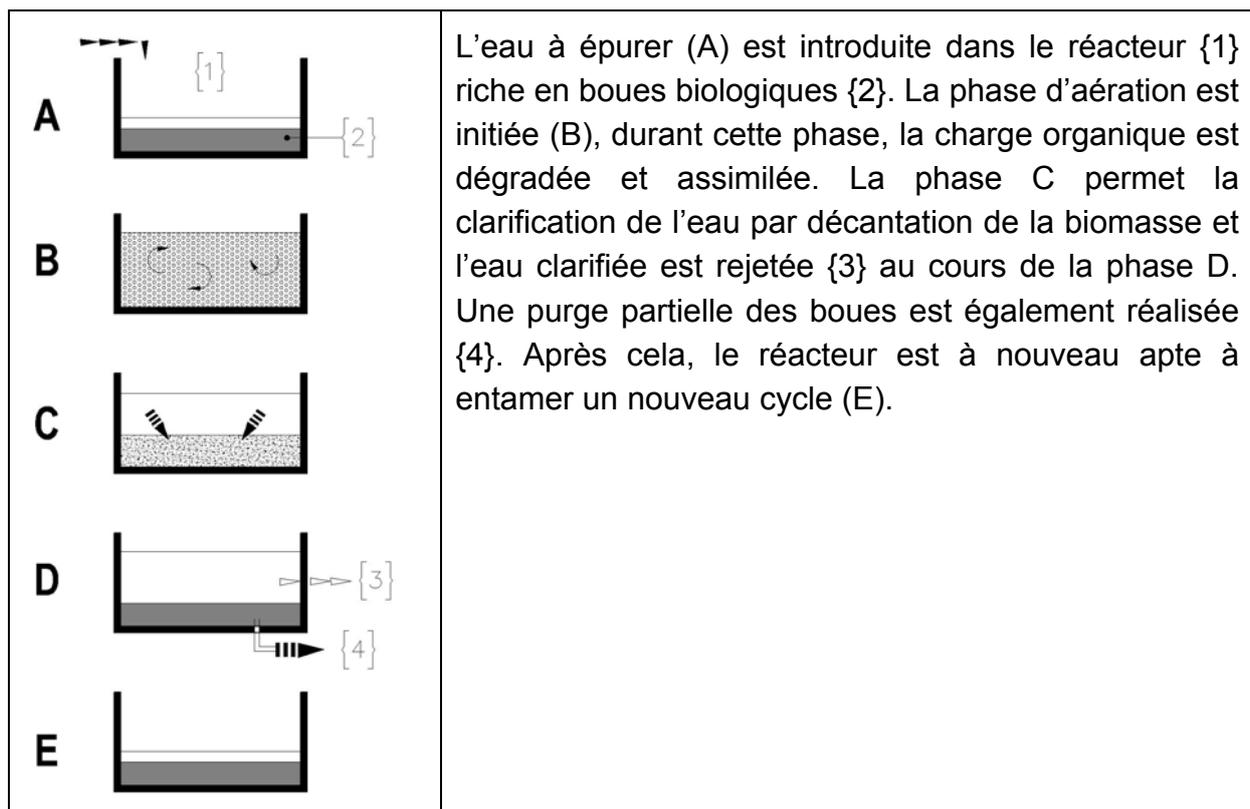


Figure 15 : schéma de l'épuration par réacteur biologique séquentiel

Cette séquence de base peut être complétée par des séquences intermédiaires visant à alterner les périodes d'aération avec les périodes d'anoxie, ceci afin d'assurer une plus grande dénitrification.



Les réserves, mentionnées précédemment, relatives aux conditions d'eaux diluées, aux apports irréguliers en substrat et à la complexité d'exploitation valent aussi pour les RBS et constituent des facteurs limitatifs pour leur applicabilité. Les contraintes en matière de qualité d'eau, de suivi d'exploitation, de maîtrise de la biomasse et de régulation restent identiques aux systèmes à boues activées avec recirculation.

Ces procédés montrent de très bonnes performances épuratoires pour autant que la régulation des séquences soit bien adaptée à la qualité d'eau à dépolluer.

### **2.2.2 Principes de fonctionnement des RBS**

Le volume des bassins sont à déterminer à partir d'un bilan de masse basé sur la cinétique biologique, en tenant compte des variations du niveau d'exploitation à l'intérieur d'un cycle, donc du volume dans lequel est contenue la biomasse et de la concentration de celle-ci. Il est recommandé de fonctionner avec une concentration en micro-organismes d'environ 2 g par litre de bassins. Une fois que le volume total requis a été déterminé, il faut fixer le nombre de réacteurs, la durée moyenne d'un cycle et des différentes phases qui le composent

Le temps de remplissage et le temps de réaction peuvent se surimposer en partie lorsqu'une partie du remplissage peut se faire en mode mélangé et aéré.

Le volume d'eau remplacé dans un bassin à chaque cycle est égal au produit du débit par le temps de remplissage d'un réacteur. Il faut s'assurer que ce volume n'est pas trop important, de façon à maintenir la concentration en micro-organismes de 2g/l pour le cycle suivant, grâce au maintien d'un volume suffisant de boues décantées. C'est pourquoi il est conseillé de maintenir une marge de sécurité entre le voile de boues et le bas niveau d'eau dans le bassin afin déviter l'entraînement des solides lors du soutirage du surnageant. Il n'est pas recommandé de soutirer plus de 50 % du volume à chaque cycle.

Les durées moyennes des phases peuvent atteindre 2 à 4 h pour la réaction biologique, en incluant le temps de remplissage aéré (s'il a lieu), de 0,5 à 2 h pour la décantation et 1 h pour le soutirage. Le temps de repos constitue une marge de sécurité pour les périodes où les débits sont plus élevés, surtout lorsque les variations de débits sont difficilement prévisibles.

L'ajout d'un bassin tampon pour accumuler l'effluent avant l'épuration avec un système permettant l'alimentation rapide des réacteurs est donc doublement avantageux : il permet à la fois d'obtenir une biomasse qui décante mieux et donne une plus grande flexibilité dans l'ajustement de la durée des cycles.



Les autres aspects importants de la conception des RBS sont le système d'alimentation, le système d'aération et de mélange, le système de soutirage du surnageant ou effluent traité et le système de contrôle.

Divers manufacturiers offrent des ensembles d'équipements incluant un logiciel d'automatisation et de gestion des cycles.

Le système d'alimentation doit permettre de remplir le réacteur pendant la période prévue à cette fin dans les cycles les plus courts. Le système de soutirage de l'effluent traité est souvent un système flottant permettant de pomper l'effluent traité juste sous le niveau d'eau, de manière à prévenir l'entraînement des écumes ou des matières flottantes et à éviter d'évacuer dans le rejet de la liqueur mixte qui aurait été emprisonnée dans le dispositif lors de la phase de digestion.

Si l'on souhaite améliorer les performances de dénitrification du système, l'aération et le mélange doivent de préférence être conçus pour permettre d'intégrer une phase de mélange sans aération.

Si un système d'aération diffuse est installé, il y a lieu de prévoir des équipements mécaniques pour assurer le mélange lorsque l'aération est à l'arrêt. A charge journalière égale, le débit d'aération des RBS est plus élevé que celui des boues activées du fait de l'alternance des phases qui réduisent le temps journalier d'aération bien que le besoin en oxygène soit identique.

Les systèmes de commande et d'automatisation doivent permettre une gestion optimale des cycles d'exploitation en fonction des variations prévues des débits et charges. Cette programmation des cycles doit de préférence être assurée par le fournisseur ou un spécialiste de ce type d'équipement.

#### 2.2.2.1 Dégrillage/décantation primaire

Les techniques utilisées sont identiques à celles des boues activées. La cuve tampon implantée à l'amont du réacteur peut également assurer un traitement primaire.

#### 2.2.2.2 Réacteur biologique

La géométrie du réacteur est à adapter aux différentes séquences de fonctionnement (remplissage, aération avec agitation, décantation, purge des boues), les équipements (pompe de vidange avec prise d'eau flottante, pompe à boues, ...) sont également à adapter au fait qu'un cycle ne peut interférer sur le fonctionnement d'un autre cycle, par exemple le pompage de l'eau décantée qui remettrait les boues en suspension.

Dans ce type de réacteur, l'automatisation programmable joue un rôle important.



### 2.2.2.3 Système d'aération

Les techniques utilisées sont identiques à celles des boues activées.

### 2.2.2.4 Clarificateur

La décantation et l'extraction des boues se fait durant la phase de repos du réacteur biologique.

### 2.2.2.5 Bassins des boues

Il n'y a pas de recirculation des boues à proprement parler mais une partie des boues décantées est conservée au sein du réacteur en fin de cycle. Celles-ci servent à inoculer l'eau usée apportée dans le cycle suivant.

## 2.2.3 Exploitation

Le bon fonctionnement d'un système de l'épuration par réacteur biologique séquentiel repose à la fois sur un ensemble d'équipements mécaniques et sur un équilibre biologique relativement fragile. Du fait de la multitude des réglages, ce genre de système demande une méthode rigoureuse de mise au point et d'ajustement à la charge. Par la suite, et pour autant que l'automatisation soit fiable et les cycles bien adaptée aux cycles de production des eaux usées, le système s'avère souvent performant.

Dans le cas d'une petite station où l'expérience de l'exploitant est parfois limitée, une vérification périodique du procédé par un opérateur spécialisé est un atout important.

## 2.2.4 Conclusion

Ce procédé requiert un savoir-faire spécifique.

Bien que performante, peu encombrante et particulièrement bien adaptée à des productions cycliques (telles que effluents de restaurant, d'ateliers de boucherie, ...), cette solution se prête très mal à l'assainissement des petites collectivités rurales, du fait de la complexité de son optimalisation, des équipements spécifiques à son fonctionnement et des besoins énergétiques nécessaires à l'aération, l'agitation et au pompage.

### 2.3 Réacteur anaérobie compartimenté

Cette technique, actuellement peu utilisée mais bien adaptée à une épuration d'eaux relativement chaudes et chargées, mérite d'être mentionnée dans le cadre de ce document.

Il s'agit de compléter le traitement primaire par un réacteur composé de 4 compartiments dans lesquels l'eau est épurée par voie anaérobie, sans support immergé.

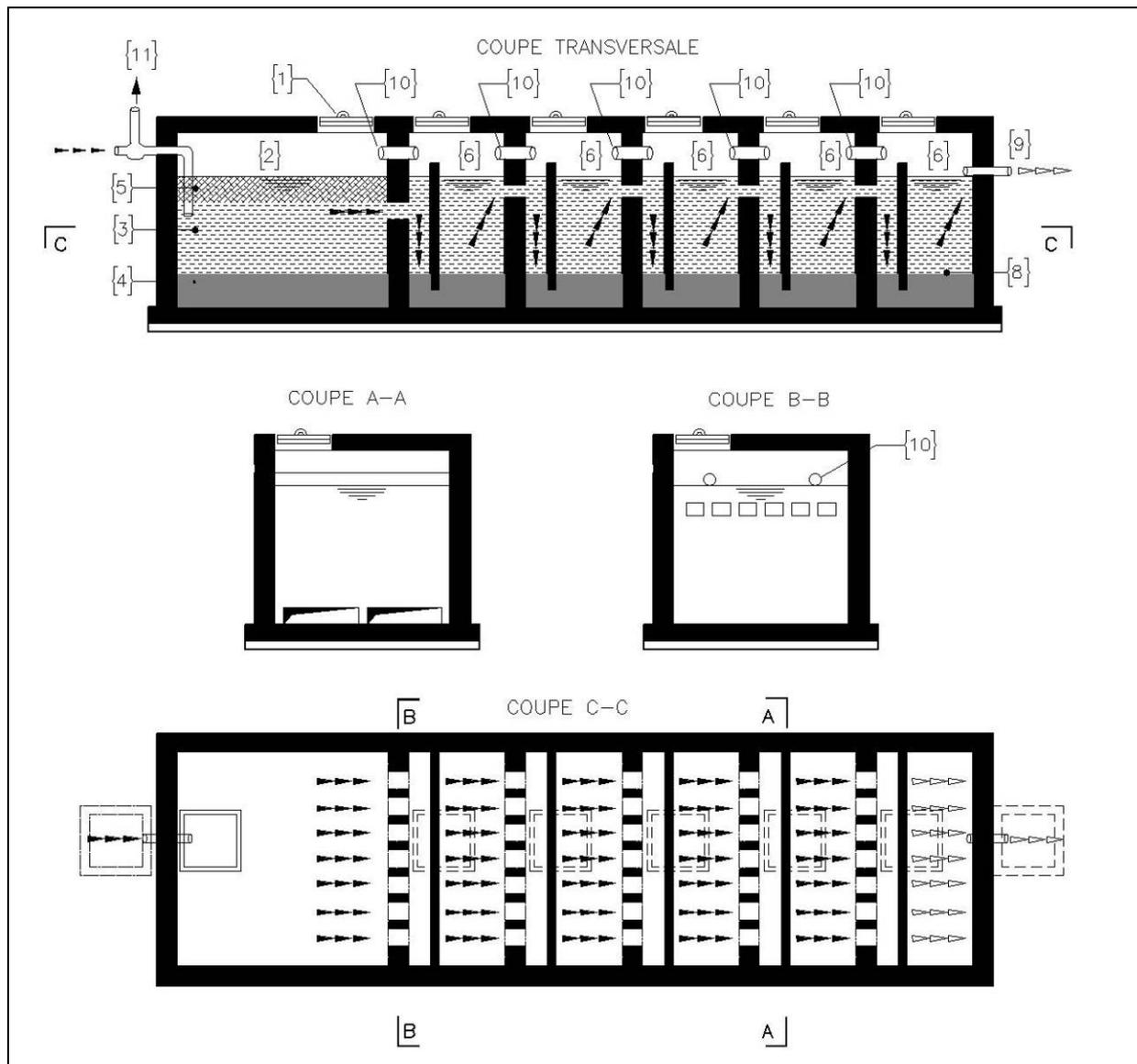


Figure 16 : réacteur anaérobie compartimenté

L'eau usée {1} est introduite dans une première chambre de décantation et d'homogénéisation {2} qui se comporte comme une fosse septique avec accumulation des boues dans le fond {4}, un liquide décanté {3} et une croûte de



surface {5}. L'eau passe ensuite dans différentes chambres successives {6} par une cloison siphonide {7} qui force le contact entre l'eau et les boues biologiques {8}. Les vitesses ascensionnelles de l'eau sont assez faibles afin de permettre aux boues de décanter. Après un parcours de l'eau au travers e 4 à 5 chambres de digestion {6}, l'eau est rejetée {9}.

Comme le procédé est anaérobie, il produit du biogaz. Une circulation du biogaz à la partie supérieure, à l'aide de perforations dans les cloisons {10} et extraction éolienne (voir partie I du manuel) {11} de ce biogaz permettent d'éviter les nuisances olfactives aux abords du réacteur anaérobie compartimenté.

Rustique et peu encombrante, cette solution s'avère particulièrement adaptée aux faibles débits fort concentrés et aux régions où la température de l'eau est relativement élevée.

Cette solution permet de réaliser des systèmes enterrés de faible encombrement (de l'ordre 0,05 m<sup>2</sup>/ habitant en intégrant les systèmes de distribution) sans nécessiter d'équipements électro-mécaniques et très peu sujets à des risques de colmatage.

### 2.3.1 Dimensionnement du réacteur anaérobie compartimenté

Le principe de dimensionnement est assez simple et reste empirique. La bibliographie ne mentionne pas de relation définissant la cinétique de dégradation.

Les valeurs fournies dans la bibliographie [25] prévoient 4 valeurs guide :

- une vitesse ascensionnelle de l'eau ne dépassant pas 2m/h, même lors des débits de pointe (Cfr le chapitre sur les prétraitements) ;
- une charge organique ne dépassant pas 3 kg de DCO/m<sup>3</sup>.j ;
- un temps de rétention supérieur à 8h ;
- des dimensions de cellule telles que sa longueur soit comprise entre 50% et 60% de sa hauteur.

La configuration du système d'alimentation de chaque compartiment permet d'assurer un contact intime entre l'affluent et la biomasse : l'affluent remet en suspension une partie de la biomasse décantée mais les vitesses ascensionnelles sont suffisamment faibles pour éviter le lessivage de la biomasse à l'extérieur du compartiment.

### 2.3.2 Performances du réacteur anaérobie compartimenté

Les performances annoncées restent modestes avec un rabattement de la DBO<sub>5</sub> de 70 à 90% et de 50 à 60 % sur la DCO [25] soit dans l'exemple proposé, une DBO<sub>5</sub> en



sortie inférieure à 100 mg/l, ce qui répond aux exigences de rejet direct reprises dans le cahier des charges du service public d'assainissement.

Certains préconisent l'utilisation d'un garnissage améliorant la fixation des bactéries anaérobies et rendant l'installation moins sensible aux fortes variations de la charge hydraulique et pouvant fonctionner à une charge allant jusqu'à 4 Kg de DCO/m<sup>3</sup>. j.

Si l'abattement est insuffisant ; il est possible d'ajouter un compartiment supplémentaire (si possible garni de modules en plastique de petite taille) ou de compléter par un module de finition, constitué d'un filtre à sable drainé ou d'un bassin facultatif adapté à la qualité obtenue en sortie du réacteur anaérobie compartimenté.

Cette technique pourrait être complétée par une filtration intermittente sur sable afin de produire une eau réutilisable en agriculture à un faible coût.

### **2.3.3 Mise en œuvre du réacteur anaérobie compartimenté**

L'implantation de ce type d'ouvrage est assez simple, il peut être réalisé en blocs de ciment car chaque cellule est assez petite, ce qui réduit les contraintes sur les parois.

#### **2.3.3.1.1 Phase de démarrage**

Comme il s'agit d'une épuration anaérobie à des concentrations en substrat décroissantes, il est conseillé de commencer avec un quart de la charge journalière, si possible avec un effluent plus concentré et pour atteindre progressivement la charge minimale au bout d'environ 3 mois.

Une inoculation du réacteur à partir de boues de décantation primaire pourrait également permettre un démarrage plus rapide de l'installation.

#### **2.3.3.1.2 Entretien et maintenance**

Le système demande le même type de maintenance que les fosses septiques, à savoir un curage partiel et régulier afin que le niveau de boues reste toujours en dessous de la lumière de distribution de l'eau dans la cellule.

#### **2.3.3.1.3 Productions de boues**

Le fond de chaque cellule doit permettre le stockage et l'accumulation de boues. Celles-ci peuvent ensuite être enlevées par pompage ou par gravité.

La production de boues estimée à environ 4 l/kg de DCO rabattue.

### 2.3.4 Plan type

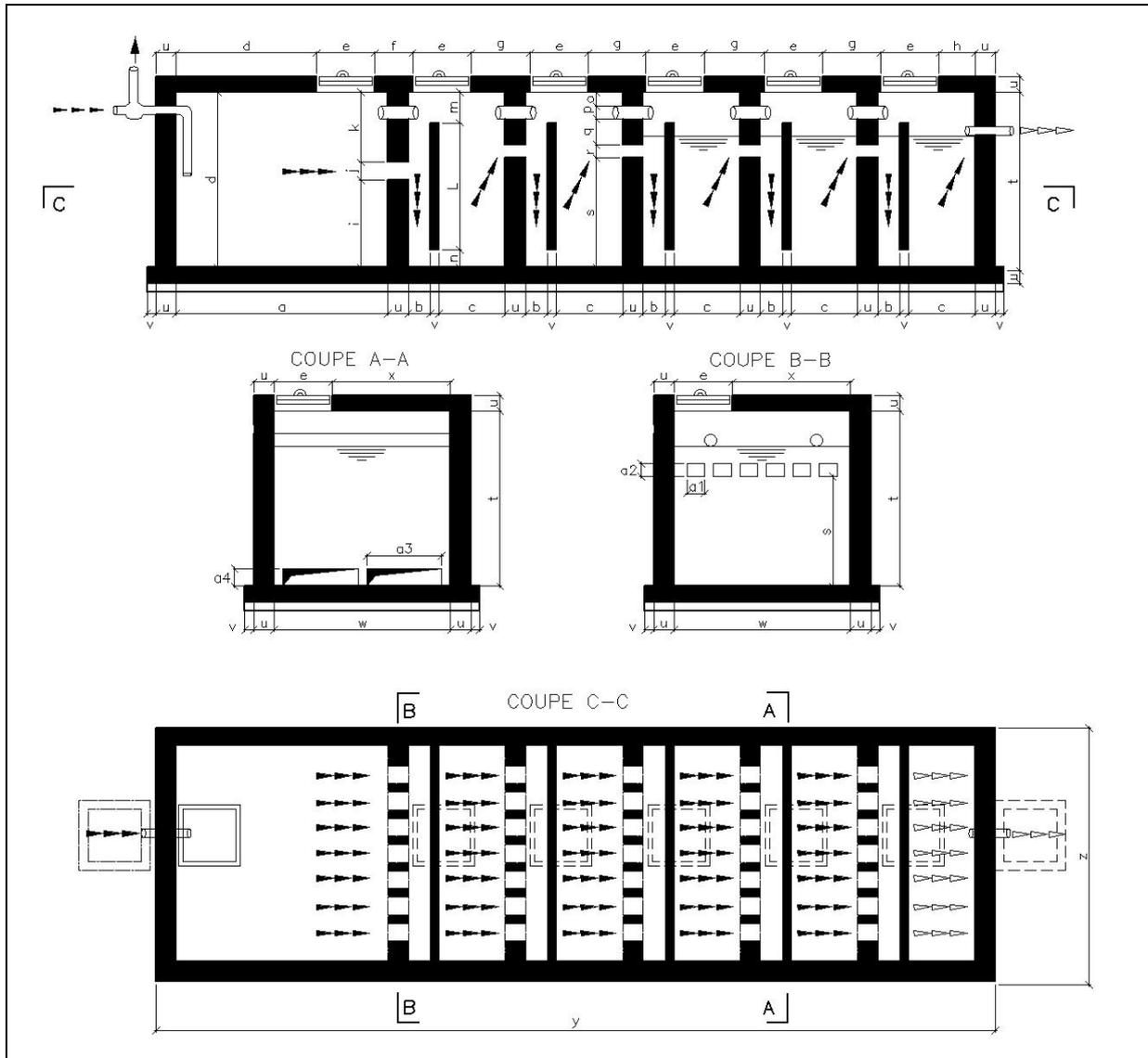


Figure 17 : plans types du réacteur anaérobie compartimenté

### 2.3.5 Exemple de calcul de dimensionnement du réacteur anaérobie compartimenté

Soit une collectivité de 500 personnes rejetant 60 l/j à une concentration de 300 mg/l de DBO<sub>5</sub> et 600 mg/l de DCO, après décantation primaire.

Ainsi, pour une population de 500 habitants, une charge biologique de 300 mg/l (en sortie de traitement primaire) et une charge hydraulique de 60 l/j, en considérant que la DCO est le double de la DBO et un débit de pointe correspondant à 1,5 le débit moyen journalier, on obtient :

- charge biologique entrante : 9 Kg/j. de DBO<sub>5</sub> ;



- volume minimum des bassins :  $(2 \times 9 \text{ kg/j}) / (3 \text{ Kg/m}^3 \cdot \text{j}) = 6 \text{ m}^3$  ;
- temps de rétention :  $6 \text{ m}^3 / ((500 \text{ hab} \times 60 \text{ l/hab} \cdot \text{j} \times 1,5)) = 3,2 \text{ h}$  ;
- volume utile nécessaire pour disposer d'un temps de séjour de 8 h :  $(8 \text{ h} / 3,2 \text{ h}) \times 6 \text{ m}^3 = 15 \text{ m}^3$  ;
- 4 compartiments identiques de  $3,75 \text{ m}^3$  ;
- surface minimum pour ne pas dépasser une vitesse ascensionnelle de 2m/h :  
 $45 \text{ m}^3 / \text{j} / 24 \text{ h} = 1,875 \text{ m}^2$  ;
- profondeur utile de la cuve :  $3,75 \text{ m}^3 / 1,875 \text{ m}^2 = 2 \text{ m}$  ;
- dimension de chaque compartiment :  $1,4 * 1,4 * 2 \text{ (L * l * h)}$ .

### 2.3.6 Conclusion

Les réacteurs anaérobies compartimentés semblent particulièrement adaptés à l'épuration d'effluents septiques fortement chargés et relativement chauds.

Leur rendement épuratoire reste inférieur à bon nombre d'autres procédés et l'information disponible ne permet pas d'estimer la cinétique de dégradation en fonction de la température de l'eau.

Vu le faible encombrement, l'absence d'équipements électromécaniques et la possibilité de complètement enterrer les cuves tout en permettant un rejet, après épuration, à faible profondeur (ce qui facilite le rejet dans le milieu naturel sans relevage) et la facilité de construction et de maintenance, cette solution mérite d'être testée afin d'en confirmer la pertinence.

En cas de performances insuffisantes une cinquième cellule ou une filtration sur sable pourraient compléter la solution afin d'aboutir à un rejet de qualité suffisante pour répondre aux normes de rejet ou de réutilisation agricole.

## 3 Systèmes aérobies intensifs à biomasse fixée

### 3.1 Disques biologiques

#### 3.1.1 Présentation des disques biologiques

Le procédé d'épuration par des disques biologiques, ou biodisques, est un procédé d'épuration biologique à cultures fixées. Le réacteur biologique est constitué de plusieurs disques minces en plastique (ou métalliques) montés sur un axe horizontal.

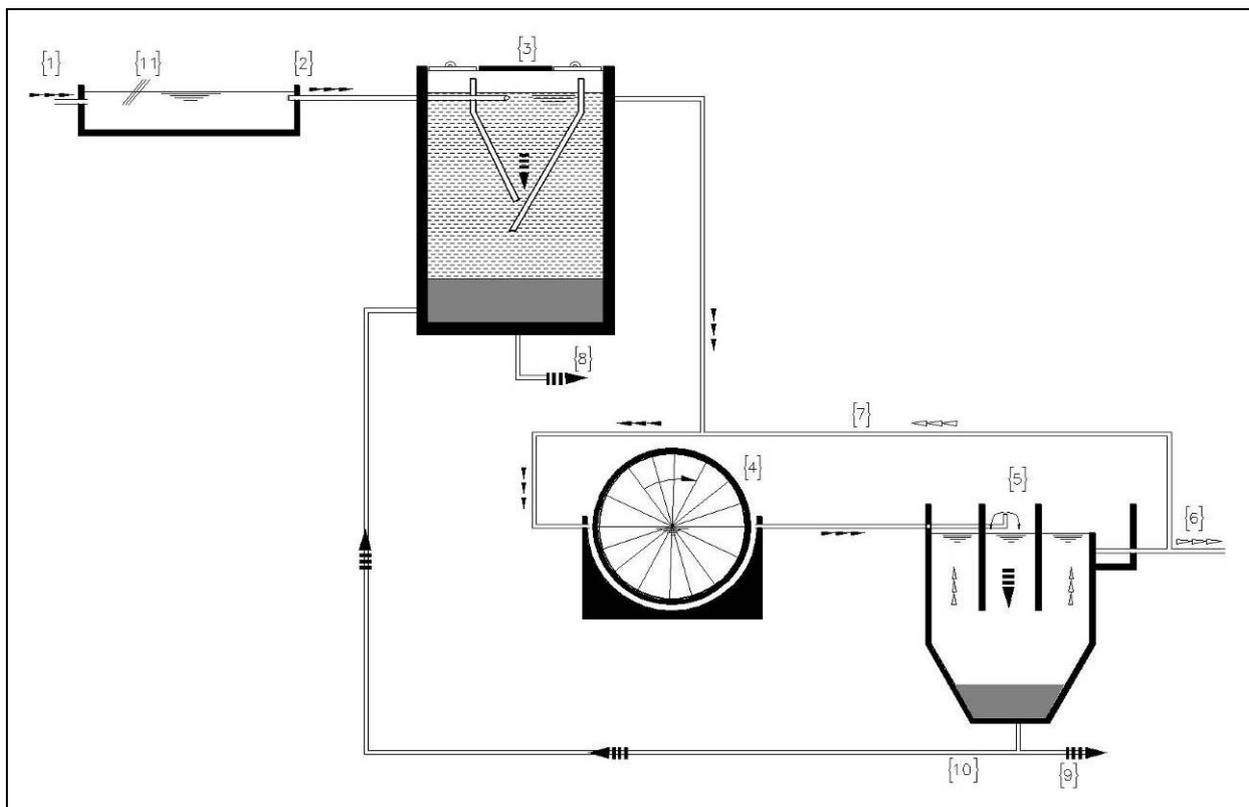


Figure 18 : schéma d'un système d'épuration par biodisques

L'eau {1} passe au travers d'un dégrilleur {11} pour ensuite être acheminée vers le décanteur primaire {3} puis le réacteur biologique {4} où les microorganismes sont fixés sur des disques tournant et partiellement immergés dans l'eau à épurer. La rotation des disques permet l'alternance des phases de nutrition et d'oxygénation des microorganismes. Une fois que le biofilm a atteint une certaine épaisseur, il se détache et est récupéré dans les boues du décanteur secondaire {5}. L'eau clarifiée est en partie rejetée {6} et en partie recyclée à l'entrée du réacteur biologique {7}. Les boues du décanteur secondaire {5} sont soit évacuées vers un filtre à sable {9} soit accumulées dans la fosse Imhoff {10}.



Les micro-organismes responsables de la dégradation sont fixés naturellement sur les disques et forment un biofilm d'une épaisseur variant de 1 à 4 mm. Environ 40 % de la surface des disques est immergée.

Le mouvement rotatif des disques autour de l'axe expose alternativement la biomasse à l'atmosphère et aux eaux usées permettant ainsi de nourrir et d'oxygéner le biofilm et d'aérer et de mélanger les eaux usées.

Les forces de cisaillement créées par le mouvement de rotation limitent l'épaisseur du biofilm et entraînent un détachement de la biomasse excédentaire, qui est ensuite séparée de l'effluent au moyen d'un clarificateur.

Comme les biodisques sont sensibles aux matières en suspension, ils doivent être précédés d'un traitement primaire.

### 3.1.2 Traitement préalable aux disques biologiques

Les disques biologiques utilisés pour l'épuration des eaux usées domestiques sont généralement précédés d'un dégrillage, d'une décantation primaire et, si nécessaire, d'un bassin d'égalisation (particulièrement utile dans le cas de rejets industriels).

Un dégrillage moyen (12 à 25 mm d'ouverture) est recommandé pour éliminer les matières fibreuses et autres déchets susceptibles de s'accrocher dans les biodisques.

Dans le cas de petites unités, la décantation primaire est assurée par décanteur-digester avec stockage des boues secondaires. Cette étape du traitement doit également permettre de retenir les graisses et écumes.

Lorsque l'affluent des biodisques (ou effluent du traitement primaire) risque d'être septique, ce qui se produit lorsqu'une fosse septique est utilisée, une pré-aération de l'affluent est recommandée à moins qu'un système d'aération supplémentaire soit prévu dans la cuve des biodisques. Le bassin d'égalisation aéré peut remplir ces deux fonctions (égalisation et aération préalable d'effluents septiques).

### 3.1.3 Conception et dimensionnement des disques biologiques

Bien que simple en apparence, le procédé d'épuration par disques biologiques fait appel à des processus complexes. L'enlèvement du substrat par la biomasse présente sur les disques est limité, par la diffusion du substrat à travers le biofilm, par le transfert d'oxygène, par les réactions biochimiques elles-mêmes ainsi que par les caractéristiques physiques du procédé.

La superficie du milieu de support est le facteur clé pour la conception. Cette superficie est liée au taux de charge organique par unité de superficie de milieu. Plusieurs modèles sont basés sur la  $DBO_5$  soluble, cette forme étant en principe



celle qui est utilisée par la biomasse. Cependant, des auteurs considèrent que la charge organique particulaire doit également être prise en considération parce qu'une partie importante de cette charge sera hydrolysée et servira de substrat.

Du fait du caractère empirique du dimensionnement, il est préférable de demander au fournisseur qu'il présente sa méthode de dimensionnement et ses garanties de résultat.

Dans le cas d'eaux usées domestiques, on utilise fréquemment des charges variant de 8 à 10 g de  $\text{DBO}_5/\text{m}^2 \cdot \text{j}$  pour une élimination du carbone et des charges de 4 à 5 g de  $\text{DBO}_5/\text{m}^2 \cdot \text{j}$  pour une nitrification complète.

Idéalement, les disques biologiques sont protégés par un abri. L'abri protège le milieu de support des rayons UV ou du gel éventuel et aide à prévenir la prolifération d'algues sur le milieu.

L'abri est conçu pour que le milieu et les équipements demeurent accessibles et que l'on puisse effectuer le remplacement complet d'une unité de biodisques en cas de bris.

#### 3.1.3.1 Nombre d'étages

Les disques biologiques sont répartis en plusieurs étages séparés. Un système d'épuration secondaire comporte généralement 3 ou 4 étages.

Au moins deux étages sont nécessaires pour une élimination du carbone. Si les contraintes de rejet imposent une nitrification de l'azote, un à deux bassins supplémentaires doivent être envisagés.

Dans les petites installations, ces étages peuvent être contenus sur un même arbre et sont séparés par des chicanes assurant ainsi une indépendance hydraulique des différentes parties.

#### 3.1.3.2 Milieu de support

Les disques, ou milieu de support de la biomasse, sont généralement fabriqués en polyéthylène de haute densité (à ne pas confondre avec la densité ou surface spécifique du milieu). La surface du disque est irrégulière, de manière à présenter un maximum de surface de contact par unité de volume, sans occasionner de colmatage.

Ce ratio (surface de contact/volume occupé par le biodisque) est appelé densité du support.

L'espacement entre les disques doit permettre le passage des eaux usées et de l'air sans causer de problèmes de pontage ou de colmatage par la biomasse. Chaque



disque doit être suffisamment rigide pour supporter la biomasse afin d'éviter qu'il y ait colmatage du fait des déformations qu'il subirait.

Un milieu de faible densité présente une surface spécifique d'environ  $115 \text{ m}^2/\text{m}^3$ . Les milieux de moyenne à haute densité présentent des surfaces spécifiques d'environ  $135$  à  $200 \text{ m}^2/\text{m}^3$ .

Seuls les milieux de faible densité peuvent être utilisés comme premier stade d'épuration où la charge appliquée est la plus grande, entraînant une plus grande épaisseur de biofilm.

Les milieux de moyenne à haute densité peuvent être utilisés dans les derniers stades de l'épuration, surtout lorsque de grandes superficies sont prévues pour permettre la nitrification.

Un taux de charge excessif sur le premier étage provoque un épaissement excessif du biofilm, un dépassement des capacités de transfert d'oxygène et l'apparition de micro-organismes indésirables de type *Beggiatoa*, formant une biomasse blanchâtre. Il en résulte des problèmes de septicité (odeurs), une détérioration des rendements, une surcharge structurale et des risques de bris d'équipements. Pour prévenir de tels problèmes, le taux de charge organique sur le premier stade ne doit pas dépasser  $30 \text{ g DBO}_5 \text{ totale}/\text{m}^2.\text{j}$  ou  $12 \text{ g DBO}_5 \text{ soluble}/\text{m}^2.\text{j}$ . Il peut être souhaitable d'ajouter de la flexibilité à l'installation en prévoyant une chicane amovible entre les deux premiers stades ou encore au moyen de tuyauterie permettant une alimentation étagée des deux premiers stades en cas de surcharge.

### 3.1.3.3 Aspects structuraux et mécaniques

L'arbre supporte le milieu et lui transmet le mouvement de rotation. Il est conçu en tenant compte de divers éléments tels le milieu, les supports ainsi que la biomasse accumulée sur une épaisseur pouvant atteindre environ  $5 \text{ mm}$ . Il doit pouvoir résister au phénomène de fatigue lié à l'alternance du sens de la charge engendrée par le mouvement de rotation pour une durée de vie d'au moins  $20$  ans et aux contraintes importantes lors du démarrage des biodisques déjà couverts d'un biofilm.

Il y a lieu aussi de tenir compte de la résistance à la corrosion, et tout autre facteur susceptible d'en influencer la résistance structurale. Il en est de même pour toute la structure de support reliant les disques à l'arbre, qui est également soumise au phénomène de fatigue en milieu très corrosif (sulfureux et micro-organismes).

Le choix des matériaux doit être effectué de façon à prévenir la corrosion galvanique. Les paliers doivent être conçus de manière à en limiter les bris et permettre une lubrification adéquate.

Les équipements doivent pouvoir résister à un environnement humide et corrosif.



#### 3.1.3.4 Clarificateur

La biomasse en excès qui se détache du milieu est séparée de l'effluent au moyen d'un clarificateur.

La concentration en boues de l'effluent du bassin des biodisques est beaucoup est assez faible, de l'ordre de 200 mg/L. Par ailleurs, la décantation des particules fines n'est pas favorisée par les conditions de floculation et de voile de boue comme dans les clarificateurs de boues activées.

Le taux de charge hydraulique superficiel souvent recommandé dans la littérature pour la décantation d'effluents de lits bactériens et de biodisques est de l'ordre de 0,6 à 1 m/h à Q moyen et de 0,8 à 1,5 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.j à Q maximal. Les valeurs les plus faibles sont utilisées pour les plus petites installations. La profondeur normalement requise pour un décanteur secondaire est d'au moins 3,6 m ; pour les plus petits décanteurs, une profondeur de l'ordre de 2,5 à 3,0 m peut être acceptable.

Les décanteurs doivent de préférence être munis d'un racleur mécanique. En l'absence de racleur, ce qui est souvent le cas dans les plus petits décanteurs, il faut éviter les décanteurs à fond plat et aménager des pentes d'au moins 50° à 60° (par rapport à l'horizontale) vers une ou plusieurs trémies d'extraction des boues.

Le décanteur sera conçu de manière à permettre l'interception des matières flottantes.

Généralement, les boues du décanteur secondaire sont extraites de la chaîne liquide au moins quotidiennement et stockées au niveau du traitement primaire ou évacuées vers un digesteur ou un lit de séchage.

### 3.1.4 Exploitation

Un suivi de la qualité de l'effluent dans les différentes phases du procédé doit être effectué conformément aux exigences du constructeur.

L'exploitant doit s'assurer du bon fonctionnement des équipements de prétraitement. Il en est de même pour le système de traitement primaire. Lorsqu'il s'agit d'un décanteur primaire avec accumulation de boues (décanteur/digesteur) ou d'une fosse septique, un suivi de l'accumulation des boues et des écumes est requis.

L'installation sera conçue de manière à permettre à l'exploitant de vérifier la présence de surcharge et d'intervenir en cas d'épaississement excessif du biofilm. Diverses options peuvent être considérées, dont une sonde de mesure d'oxygène dissous et une cellule indiquant la masse totale appliquée (poids du biofilm et des biodisques) à l'arbre pour permettre de déceler les problèmes de surcharge, ainsi qu'un système d'entraînement à vitesse variable et la possibilité d'inversion du sens de rotation pour permettre un décrochage de biomasse en excès.



Les équipements mécanisés nécessitent un bon programme d'inspection et d'entretien préventif. Ceci est d'autant plus vrai dans le cas des biodisques où des bris majeurs pouvant nécessiter le remplacement de l'arbre et des disques peuvent entraîner des coûts élevés et de longues périodes d'arrêt du 'épuration. Les divers éléments mécaniques (moteur, réducteur de vitesse, système d'entraînement, paliers et autres) doivent être inspectés régulièrement et faire l'objet d'un calendrier d'entretien préventif. Les éléments structuraux du procédé (arbre, supports des disques et autres) et le milieu lui-même doivent être inspectés fréquemment.

Toute anomalie des éléments mécaniques ou structuraux du procédé doit faire l'objet d'une analyse par des spécialistes afin de permettre d'intervenir, s'il y a lieu, avant qu'il n'y ait une détérioration plus importante ou des bris majeurs.

Le fonctionnement du procédé lui-même doit aussi être observé régulièrement afin de prévenir les problèmes de colmatage du milieu, de perte de rendement, d'usure prématurée et même de bris d'équipements.

Des lectures du capteur de poids de l'arbre et des mesures du niveau d'oxygène dissous dans le premier stade permettent de détecter des problèmes de surcharge. Des facteurs qualitatifs comme la formation d'une biomasse de couleur blanchâtre, l'épaississement excessif du film biologique (par exemple au-delà de 3,0 mm d'épaisseur) et la présence d'odeurs de sulfure d'hydrogène peuvent aussi indiquer des problèmes de surcharge. La charge appliquée doit être vérifiée à partir du suivi du débit et de la concentration des eaux usées.

La vitesse de rotation des disques doit être vérifiée. S'il s'agit de disques entraînés à l'air, le débit d'air doit être ajusté au besoin pour maintenir une vitesse de rotation adéquate. Une attention particulière doit être apportée au redémarrage à la suite d'une panne d'électricité ou autre. Après un arrêt prolongé (6 heures ou plus), une intervention sur la biomasse peut être requise pour remédier aux problèmes de balourd (inégalité de la répartition des poids sur toute la surface des disques).

## 3.2 Les lits ou filtres bactériens aérobies à percolation

### 3.2.1 Présentation des lits bactériens

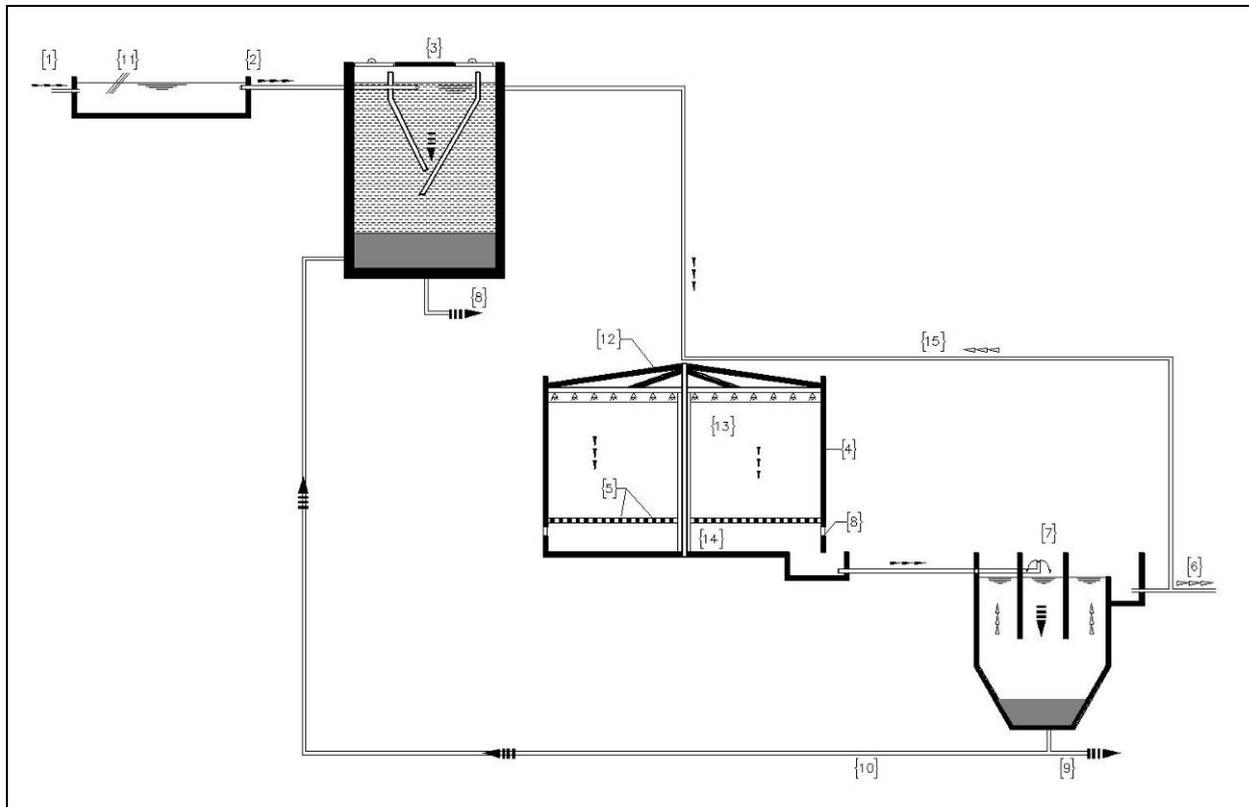


Figure 19 : Schéma d'un lit bactérien

L'eau usée {1} passe au travers d'un dégrilleur {11} pour ensuite être acheminée vers le décanteur primaire {3} puis le réacteur biologique {4} équipé d'un système de distribution de l'eau {12} sur le support de percolation {13}. L'eau passe ensuite au travers d'un plancher perforé {5} et est ensuite orienté vers le décanteur secondaire {7}. Le vide ventilé {14} est équipé en périphérie d'ouvertures de ventilation {8} permettant la circulation d'air frais au travers de la zone de percolation {13}. Le support de percolation est colonisé par un biofilm assumant l'épuration de l'eau usée. Une fois qu'il atteint une certaine épaisseur, il entre en anaérobiose et se détache de son support et se retrouve au bas du réacteur.

Ces boues biologiques sont récupérées dans le décanteur secondaire {7}, l'eau clarifiée est rejetée {6} et partiellement recyclée vers le réacteur biologique {15}.

Les boues sont soit évacuées vers les lits de séchage {9} soit accumulées dans la fosse Imhoff {10}.

Le lit bactérien est un réacteur biologique aérobie constitué d'un bassin cylindrique, quelque fois rectangulaire, souvent hors sol, mais pouvant être partiellement enterré,



rempli de matériaux à surface spécifique élevée (de 50 à 250 m<sup>2</sup> par m<sup>3</sup>) sur lesquels se forme un biofilm.

Les eaux usées sont dispersées uniformément sur le sommet et ruissellent à travers les matériaux sur lesquels se développeront des biofilms de bactéries (env. 80%), d'algues, de protozoaires (env. 10%), de vers et de moisissures (10%).

Les vers, macro invertébrés et larves contribuent à empêcher le colmatage du garnissage par le biofilm et réduisant très fortement la production des boues.

Des mouches (*Psychoda*) se reproduisent et vivent autour du lit bactérien mais ne s'en éloignent pas. Il est cependant recommandé d'isoler l'installation des zones habitées.

L'eau usée ruisselle au travers du matériau de garnissage et forme un film liquide traversé par l'oxygène de l'air et par le gaz carbonique provenant de la biomasse. Les matières à dégrader sont transférées de la phase liquide à la biomasse fixée qui se subdivise de l'extérieur vers l'intérieur en trois couches :

1. aérobie en croissance ;
2. aérobie ne recevant pas de substrat, mais en respiration endogène ;
3. de fermentation anaérobie.

Le biofilm qui se forme dans un nouveau lit bactérien est mûr après environ 20 jours. Au-delà d'une certaine épaisseur et d'un certain temps, le biofilm se détache progressivement et se renouvelle en 2-3 jours (et d'autant plus vite que la biomasse trouve des surfaces irrégulières où se fixer). Cet auto curage est important et détermine partiellement l'efficacité du lit bactérien.

La masse de biomasse est donc plus ou moins constante dans un lit bactérien à charge normale ou forte.

L'épaisseur du biofilm s'équilibre en fonction du taux de matières organiques dans les eaux à traiter, mais elle sera plus importante si la DBO<sub>5</sub> des eaux augmente.

Les lits bactériens sont placés à l'aval du traitement primaire et disposent d'une recirculation de l'effluents qui est ajustée afin d'éviter le colmatage du support du biofilm tout en maintenant un rendement d'épuration satisfaisant.

Les matériaux de garnissage actuels sont en plastiques, PVC, PE, PP, polystyrène, tuyaux annelés ; ils sont légers et offrent des surfaces spécifiques élevées avec un pourcentage de vide élevé. Ces matériaux permettent:

- d'augmenter la charge massique des lits bactériens qui est souvent de l'ordre de 2 kg de DBO<sub>5</sub>/j.m<sup>3</sup> de garnissage ;
- d'éviter les colmatages tout en augmentant la hauteur (jusqu'à plus de 10 m).



Les lits bactériens acceptent facilement des variations de charges importantes.

Au niveau de la section supérieure du lit bactérien, il est nécessaire de répartir uniformément l'alimentation en eaux usées. A cette fin, des arroseurs rotatifs (rampes mobiles) tournent lentement ou des distributeurs fixes sont placés uniformément au-dessus du lit de garnissage.

Les boues plus ou moins stabilisées entraînées avec les effluents sont séparées facilement dans un clarificateur du même type que pour les biodisques, avec des vitesses ascensionnelles, de l'ordre de 1 à 1,2 m/s.

### 3.2.2 Dimensionnement d'un lit bactérien

Les principaux paramètres de dimensionnement des lits bactériens sont la charge organique par unité de volume ( $C_v$ ), la charge hydraulique ( $C_h$ ), la hauteur de matériau et le taux de recyclage. Leurs valeurs varient en fonction du niveau de rejet à atteindre et du matériau de remplissage du lit.

Les valeurs habituellement rencontrées sont :

- $C_v$  = Flux journalier de  $DBO_5$  à l'entrée du lit / Volume du matériau ( $kg\ DBO_5/m^3.j$ ) : de l'ordre de  $0,7\ kg/m^3.j$ .
- $C_h$  = Débit d'alimentation du lit / Surface horizontale ( $m^3/m^2.h$ ) : environ  $1m^3/m^2.h$  pour les matériaux traditionnels (graviers) et  $2,2\ m^3/m^2.h$  pour les matériaux plastiques. Cette valeur conditionne le taux de recirculation à prévoir.

Les valeurs des charges généralement prises comme référence correspondent à :

- une concentration de sortie inférieure à  $35\ mg/l$  de  $DBO_5$  ;
- un taux de recirculation minimal de  $200\ \%$  ;
- une hauteur minimale de  $2,5\ m$  pour les lits bactériens avec un matériau de remplissage traditionnel ;
- une hauteur minimale de  $4\ m$  pour les lits bactériens avec un matériau de remplissage plastique.

La charge hydraulique est régulée par le taux de recirculation. Des charges hydrauliques trop faibles peuvent engendrer des déficits en oxygène du biofilm et être à l'origine de pertes de rendement et de mauvaises odeurs.

Les décantations primaires et secondaires doivent garantir l'élimination de toutes les particules supérieures à  $10\ mm$ , avant percolation dans le lit bactérien.



### 3.2.3 Exploitation d'un lit bactérien

Ce système assez robuste reste assez simple à exploiter. Il accepte de fortes variations de charge polluante pour autant que la recirculation soit suffisante.

Seul le système d'alimentation demande un suivi régulier et fréquent afin de maintenir une bonne distribution de l'eau sur tout le massif filtrant.

Dans le cas de petites installations, la recirculation est nécessaire afin de disposer de débits suffisamment important pour mouiller constamment tout le massif filtrant.

### 3.2.4 Conclusions

De tous les systèmes intensifs présentés, le lit bactérien une solution dont la maintenance reste la plus aisée. Elle se limite au nettoyage du système de distribution d'eau, à la maintenance des pompes et à la purge des décanteurs.

Cependant, l'installation doit être éloignée des zones habitées et nécessite une alimentation électrique relativement conséquente.



## LEXIQUE

Aérobie	Se dit des micro-organismes qui ne peuvent se développer qu'en présence d'air ou d'oxygène libre. Certains de ces micro-organismes, principalement les bactéries, sont utilisés comme agents épurateurs des eaux résiduaires.
Aérobiose	Condition de vie des micro-organismes dont le métabolisme dépend de la présence d'oxygène ou la tolère.
Air lift	Dispositif composé d'une conduite dans laquelle on insuffle à un moment donné de l'air sous pression créant dans la tuyauterie un mouvement ascensionnel qui aspire les sables à la base de la conduite pour les remonter et les diriger vers le lieu de stockage.
Anaérobie	Se dit des êtres vivants qui peuvent ou qui doivent vivre en l'absence d'oxygène libre, ainsi que des réactions chimiques se faisant à l'abri de l'air. Les fermentations lactique et alcoolique, par exemple, sont anaérobies, de même que la biodégradation des déchets. La flore microbienne de l'intestin humain est également anaérobie. La plupart des espèces anaérobies se développent aussi bien, voire mieux en présence d'oxygène mais certaines sont anaérobies strictes, l'oxygène les tue. C'est le cas du tétanos par exemple.
Anaérobiose	Condition nécessaire à la vie des micro-organismes dont le métabolisme peut s'effectuer en absence d'oxygène (facultative) ou est inhibé par la présence d'oxygène (stricte).
Anoxique	Interruption ou suppression de l'oxygène délivré au niveau des tissus. Elle entraîne des altérations cellulaires.
Azote Kjeldahl	Azote organique + azote ammoniacal.
Azote Total	Azote Kjeldahl + azote oxydé ( $\text{NO}_2$ et $\text{NO}_3$ ).
Bactérie	Etre unicellulaire, à structure très simple, à noyau diffus. Elles se différencient à la fois des végétaux et des animaux et constituent par leur multiplication rapide et leur action biochimique un groupe d'une importance capitale pour l'équilibre du monde vivant. Beaucoup ont des formes de résistance qu'on appelle spores et qui leur permettent de survivre un certain temps à des températures extrêmes ou au



dessèchement.

Biofiltres	Filtres garnis en matériau de granulométrie suffisamment faible pour obtenir un effet de filtration efficace. Le matériau sert simultanément de support à la biomasse fixée. L'oxygène est apporté par insufflation d'air dans le biofiltre.
Biomasse :	Masse totale de l'ensemble des êtres vivants occupant, à un moment donné, un biotope bien défini. Par exemple, la biomasse d'une forêt comprend aussi bien les arbres, leurs oiseaux et leurs insectes que le sous-bois ou la faune microscopique du sol. En STEP, elle comprend des êtres vivants de petite taille inférieure au millimètre, microflore de bactéries et microfaune d'animaux.
Boues activées	Flocons bactériens décantables produits par l'épuration des eaux résiduaires. Elles sont réalisées au départ de cultures libres intimement liées à l'effluent à épurer.
By-pass	Tuyauterie de dérivation sur le circuit principal d'un fluide, servant à éviter ou à isoler un appareil ou à régler son débit utile.
Colloïdale	Se dit d'un état obtenu par précipitation, agitation ou pulvérisation.
Colloïde	Système dans lequel des particules se trouvent suspendues dans un fluide. Celles-ci ont un diamètre inférieur à 100 microns. Les émulsions d'huile dans l'eau, les fumées et les brouillards, les peintures, les cosmétiques sont les plus souvent des colloïdes.
DBO	Demande biologique en oxygène. Fourniture d'oxygène nécessaire à la dégradation biologique des débris et résidus organiques contenus dans une eau donnée.
DBO <sub>5</sub>	Demande biologique en oxygène sur cinq jours. C'est la quantité d'oxygène consommée pour la dégradation biologique des débris et résidus contenus dans une eau donnée. Elle représente une fraction des matières organiques biodégradables et la norme établie est de cinq jours.



DCO	Demande chimique en oxygène. Fourniture d'oxygène nécessaire à une dégradation purement chimique de ces mêmes débris et résidus contenus dans une eau donnée, sans intervention des micro-organismes.
DBO	Demande biologique en oxygène.
DBO5	Demande biologique en oxygène durant les 5 premiers jours de dégradation en présence d'oxygène dissout.  La DBO <sub>5</sub> représente 50 à 70% de la DBO ultime ou absolue (il faut environ 20 jours pour que la dégradation biologique soit complètement achevée).
Décantation	Action de clarifier, de séparer par différence de gravité, des produits non miscibles, dont l'un au moins est liquide.
Déshydratation	Action d'enlever l'eau mélangée ou combinée avec un corps. Ensemble des techniques destinées à extraire le maximum d'eau de certaines matières.
Dystrophisation	Se dit d'un sol à activité biologique ralentie, pauvre en bactéries actives et ayant la lente évolution chimique d'une tourbière.
ERU	Eaux résiduaires urbaines.
ERI	Eaux résiduaires industrielles
Eaux grises	Eaux provenant des activités des activités de lavage et de préparation des repas.
Eaux vannes	Eaux provenant des toilettes (WC).



Ecosystème	Système formé par un biotope et par l'ensemble des espèces qui y vivent, s'y nourrissent et s'y reproduisent. Il doit être équilibré et stable.
Enzyme	Catalyseur d'une réaction biologique. Chaque enzyme a une activité spécifique et n'agit que sur un seul type de substrat.
Equivalent Habitant (EH)	Notion théorique (française) qui exprime la charge polluante d'un effluent par habitant et par jour. Il correspond à un rejet moyen journalier de 180 l d'effluent de charge polluante de 300 mg/l de D.B.O <sub>5</sub> . Cette notion théorique n'a pas encore d'équivalent au Maroc.
Eutrophisation	Enrichissement naturel ou artificiel d'une eau en matières nutritives. Les nitrates et les phosphates solubles, issus de l'action des bactéries sur les déchets, diffusent jusqu'à la surface et favorisent la prolifération d'algues et autres plantes vertes cause de l'asphyxie des milieux aquatiques.
Matière Dissoute (MDi)	Molécules isolées réparties uniformément dans l'eau.
Matières colloïdales (MC)	Matières solides de très petite taille (< 0,1 µm) qui traversent le papier filtre mais qui ne sont pas complètement dissoutes dans l'eau.
Matières Décantables (MD)	Matière qui a décanté après 30 min, 1 heure, 2 heures ou 1 journée en fonction du protocole.
Matières en Suspension (MES)	Matières décantables + matières non décantables.
Matières non Décantables (MND)	Particules trop petites pour décanter dans un délai raisonnable, elles sont identifiées par filtration (mesure d'augmentation du poids du papier filtre).
Matières sèches (MS)	Toute substance dans les eaux usées et qui n'est pas de l'eau.



---

Matières Sèches Volatiles (MSV)	Partie organique de la matière sèche = MS – cendres.
Oxygène dissout	Molécules d'oxygène dissoutes dans l'eau (utilisé par les bactéries pour la dégradation de la MSV). A saturation l'eau contient environ 10 mg/l d'O <sub>2</sub> .
pH	Potentiel hydrogène, exprime la concentration en ions H <sup>+</sup> contenus dans l'eau.



## BIBLIOGRAPHIE

[1] Constructed wetlands for wastewater treatment and wildlife habitat-17 case studies-EPA 832-R-93-005-Se/verubre 1993.

[2]: Subsurface flow constructed wetlands for wastewater treatment a technology Assessment – EPA 832 – R – 93 - 008 – July 1993.

[3] Had book for Management of onsite and clustered (decentralized) wastewater treatment systems – US EPA – PA 832 – D- 03 -001 – February 2003.

[4]: wastewater hygiénisation in constructed. Wetlands, ponds and related and systems –International work shop – 6-7 November 2003-leyzig

[6] : Technologies appropriées au contrôle de la pollution par les eaux d'égoût dans le Région des Caraïbes – Rapport technique du PEC n° 431998.

[8] : Épuration par bio filtration – Documentation technique – FNDAE – hors série n° 8.

[9] : Guide pour l'étude des technologies conventionnelles de traitement des eaux usées d'origine domestique – ministre canadien de l'environnement – direction des politiques du secteur municipal- Février 2001.

[10] : Filière d'épuration adaptée aux petites collectivité – FNDAE – n° 22

[11] : Le lagunage naturel, conception et réalisation : Agence de l'eau Seine Normandie, 51 rue Salvador Allende 92027 Nanterre Cedex.

[12] : Procédé extensifs d'épuration des eaux usées adaptés aux petites et moyennes collectivités :

[13] : Manuel du conducteur de station d'épuration, épuration par langage : Agence de l'eau Seine Normandie.

[14] : Finnemore, E.J., and N.N. Hantzsche (1983) , Groudwater Mounding Due to onsite Sewage Disposal, Journal American Society of Engineers, IDE, vol. 109, N° 2, p. 199

[15]: Designs Manual for waste stabilizations ponds in Mediterranean – countries Ducan Mara and Howard Pearson – Lagoon Technology International Leeds, England - 1998.

[16] : Decentralized systems Technology fact sheet – Recirculating Sand Filters – USEPA 832 – F – 99 – 079 - -September 1999.

[17] : Wastewater technology fact sheet - Package plants US EPA-932-F-00-016.

[18] :



- [19] : Guides des procédés épuratoires intensifs proposés aux petites collectivités C; Thiery – V ; Hébert - . Y Lesavre – Agences de l'eau.
- [20] : Note sur la caractérisation quantitative et qualitative du eaux grises des Douars de la commune Mhaya – ONEP – Septembre 2005.
- [21]: Kazzouk Zeineb : Bilan en France des opérations d'infiltration percolation des eaux usées traitées. Synthèse technique Engref Centre de Montpellier – Mars 2002.
- [22] : Crites & Techobanoglous : Small and Decentralized Wastewater Management Systems – Me Graw – Hill international editions – 1998.
- [23] : L'eau et le sol : principes et processus physiques – Daniel Hillel – 1988.
- [23] : l'eau et le sol : principes et processus physiques- Daniel Hillel-1988
- [24] : Assainissement en zone rurale – Le lagunage aéré- état de l'art. Jean-Luc Vassel et Thierry Namèche. Colloque organisé à la FUL les 23-24-30 et 31 mai 1996.
- [25] : Dewats : Systèmes décentralisés de traitement des eaux usées dans les pays en voie de développement – Ludwig sasse – 1998.
- [26]: constructed wetlands treatment of Municipal wastewater. EPA/625/R-99/010-September 2000.
- [27]: Ecological Sanitation – revised and enlarged edition – Stockholm environment institute – 2004.