

**SANDEC**



# Traitement d'Eau de Surface par des Préfiltres à Gravier

**Un manuel de Conception, de Construction  
et d'Exploitation**

**Martin Wegelin**

Institut Fédéral Suisse pour les Sciences et la Technologie de l'Environnement  
(EAWAG)

Département de l'Eau et de l'Assainissement dans les Pays en Développement  
(SANDEC)



**SKAT**

Centre de coopération suisse pour la technologie et le management (SKAT)

# Traitement d'Eau de Surface par des Préfiltres à Gravier

par Martin Wegelin

Duebendorf, Juillet 1997

Texte révisé par: Sylvie Peter  
Brian Clarke

Traitement de texte: Brigitte Hauser

Illustrations: Heidi Bolliger  
Lydia Zweifel  
Wey Photo Atelier

Traduction en français: Benjamin Kalmogo

Révision du Texte en français: Dr Amadou Hama Maiga  
Dr Liqa Raschid

Copyright © par SANDEC (Eau et Assainissement dans les Pays en Développement)  
à l'EAWAG (Institut Fédéral Suisse des Sciences et Technologie de l'Environnement);  
CH-8600 Duebendorf, Suisse.

Autorisation est donnée pour la reproduction de ce matériel, en entier ou partiellement,  
à des buts éducatifs, scientifiques ou de développement, mais pas à un but commercial,  
à condition de

- faire une citation complète de la source
- obtenir une autorisation écrite de SANDEC

ISBN : 3-908001-71-4

Editeur: Centre de coopération suisse pour la technologie et le management (SKAT)  
CH-9000 St.Gallen, Suisse

Distributeur: Intermediate Technology Publications (it),  
103-105 Southampton Row, London WC1B 4HH, Angleterre  
Email; itpubs@gn.apc.org; Fax + 44-171-436 2013



Le Projet Préfiltre à Gravier de SANDEC a été fortement co-financé par  
la Direction du Développement et de la Coopération Suisse (DDC)

# Traitement d'Eau de Surface par des Préfiltres à Gravier

par Martin Wegelin

## Table des matières

**Avant-propos**  
**Préface**  
**Résumé**

### **Première partie: Généralités et Domaines d'Application des Préfiltres à Gravier**

- 1. Historique et Expérience en Traitement de l'Eau**
- 2. Traitement de l'Eau: le Concept**
- 3. Qualité de l'Eau Brute**
  - 3.1 Caractérisation de l'eau brute
  - 3.2 Zone de captage
  - 3.3 Analyse de la qualité des eaux
- 4. Séparation des Matières Solides**
  - 4.1 Décantation
  - 4.2 Préfiltration sur gravier
- 5. Amélioration de la Qualité Bactériologique de l'Eau**
  - 5.1 Filtration lente sur sable
  - 5.2 Chloration
- 6. Principe d'un Système d'Alimentation en Eau**
  - 6.1 Généralités
  - 6.2 Profil hydraulique
  - 6.3 Etapes du traitement
  - 6.4 Distribution de l'eau
- 7. Application de la Préfiltration sur Gravier**
  - 7.1 Historique
  - 7.2 Développement des préfiltres à gravier

### **Deuxième partie: Conception, Construction et Exploitation des Préfiltres à Gravier**

- 8. Classification des Préfiltres à Gravier**
- 9. Aspects Généraux de la Conception d'un Préfiltre à Gravier**
  - 9.1 Caractéristiques principales
  - 9.2 La théorie de base de la filtration
  - 9.3 Variables et valeurs guides de dimensionnement
  - 9.4 Contrôle du débit et de la perte de charge
  - 9.5 Système de vidange du filtre
  - 9.6 Aspects généraux de la conception



## **10. Conception Détaillée des Filtres**

- 10.1 Filtres à la prise
- 10.2 Filtres dynamiques
- 10.3 Préfiltres à gravier à flux vertical
- 10.4 Préfiltres à gravier à flux horizontal

## **11. Efficacité du Préfiltre à Gravier**

- 11.1 Expérience pratique
- 11.2 Les installations pilotes

## **12. Critères de Choix d'un Préfiltre à Gravier**

- 12.1 Qualité de l'eau brute comme critère de choix
- 12.2 Dispositifs types et aspects d'exploitation comme critères de choix

## **13. Construction des Préfiltres à Gravier**

- 13.1 Bassin du filtre
- 13.2 Matériau filtrant
- 13.3 Structures d'entrée et de sortie
- 13.4 Système de drainage
- 13.5 Structures de nettoyage du gravier et du sable

## **14. Exploitation et Maintenance des Préfiltres à Gravier**

- 14.1 Formation de l'exploitant
- 14.2 Mise en service d'une station de traitement
- 14.3 Contrôle du débit
- 14.4 Contrôle de la qualité de l'eau
- 14.5 Nettoyage du filtre
- 14.6 Maintenance du filtre

## **15. Aspects Economiques**

- 15.1 Coûts de construction
- 15.2 Coûts d'exploitation et de maintenance
- 15.3 Coûts globaux des systèmes d'alimentation en eau

## **16. Exemples de Dimensionnement**

- 16.1 Traitement des eaux d'une rivière de plateau
- 16.2 Traitement d'un cours d'eau de plaine
- 16.3 Traitement de l'eau de retenue
- 16.4 Réhabilitation d'une station de filtre lent à sable
- 16.5 Dimensionnement standard de stations de traitement d'eau compactes

## **17. Observations Finales**

Références

Abréviations

## **Annexes**

- 1 Méthodes simples d'analyse de la qualité de l'eau
- 2 Méthodes simples de mesures des débits
- 3 Principales données et caractéristiques des filtres lents à sable
- 4 Théorie de la préfiltration sur gravier
- 5 Exemples de dimensionnement de stations pilotes
- 6 Exemples de dimensionnement de préfiltres à gravier
- 7 Programme de formation des exploitants
- 8 Surveillance de l'exploitation du filtre
- 9 Table de conversion
- 10 Remerciements



## Avant-propos

SANDEC, le Département de l'Eau et de l'Assainissement dans les Pays en Développement (précédemment IRCWD) à l'EAWAG, s'est impliqué dans le développement et la promotion des préfiltres à gravier pendant plus d'une décennie. La préfiltration à gravier à flux horizontal a été étudiée au départ en laboratoire, puis testée sur le terrain par nos partenaires de coopération dans les pays en développement, et enfin réalisée dans des projets de démonstration. Un manuel présentant ce procédé de traitement a été publié en 1986 sous la référence Report No. 06/86 de l'IRCWD.

Le développement de la technologie des préfiltres s'est poursuivi depuis. Différents types de préfiltres à gravier ont été étudiés et expérimentés. Cependant, non informés les techniciens de terrain continuaient d'utiliser la technologie des préfiltres à gravier à flux horizontal là où d'autres types de filtres auraient été plus appropriés.

Ce manuel a été réalisé pour pallier à ce manque d'information. Il est basé sur une révision complète de l'ancien manuel, sur un avant-projet présenté à la Confé-

rence Internationale sur la Préfiltration à Gravier tenue à Zurich, en Suisse, en juin 1992, et sur l'expérience de terrain de SANDEC dans la réalisation des préfiltres à gravier. Ce manuel a bénéficié de précieuses informations reçues de nos partenaires de coopération dans les pays en développement. La version originale a été publiée en anglais sous la référence Report No. 2/96, en Octobre 1996. La traduction en français est faite sous la co-ordination de Dr Liqa Raschid, avec une révision technique de Dr Amadou Hama Maiga qui ont fait preuve dans ce travail d'une grande compétence professionnelle que nous tenons à reconnaître.

SANDEC est particulièrement reconnaissant pour la collaboration et le soutien fourni par toutes les institutions et les personnes impliquées dans ce projet. J'aimerais exprimer ma gratitude à la Direction du Développement et de la Coopération Suisse, en particulier à Messieurs Armon Hartmann et Paul Peter, qui ont énormément soutenu le projet de préfiltre à gravier de l'EAWAG. Mes remerciements enfin, mais pas les moindres, aux réviseurs de ce manuel pour leurs observations appréciables.

Duebendorf, Juillet 1997

Roland Schertenleib  
Directeur SANDEC



## Préface

**Cet ouvrage comporte deux parties. Il présente des alternatives pour le traitement de l'eau,** applicables essentiellement aux systèmes d'alimentation en eau en milieu rural, dans les pays en développement et dans certains cas dans les pays nouvellement industrialisés, en insistant particulièrement sur **les processus de séparation des matières solides.**

### **La première partie**

**aborde le thème de traitement de l'eau en milieu rural de manière générale.** Elle décrit le concept de traitement de l'eau et la qualité de l'eau brute des différents types d'eau de surface; résume les divers processus de traitement de l'eau utilisés pour l'élimination des matières solides; donne un bref compte-rendu de l'amélioration de la qualité bactériologique de l'eau; fournit une esquisse générale des systèmes d'alimentation en eau; et présente le développement de l'application du préfiltre à gravier.

### **La deuxième partie**

**se rapporte à la conception, la construction et l'exploitation des différents préfiltres à gravier.** Elle donne des informations complètes sur le schéma et le principe de fonctionnement du filtre. Elle présente des expériences pratiques obtenues avec différents filtres et décrit les critères et les procédures de sélection d'un plan adéquat d'installation de traitement. Elle discute des aspects de construction et d'exploitation et des aspects économiques et présente quelques illustrations de cas. Enfin elle révèle des informations appréciables sur la réalisation pratique de la technologie de préfiltration.

**Cet ouvrage peut servir de manuel pour les professeurs** enseignant la technique de traitement de l'eau en milieu rural, **pour les ingénieurs** devant choisir et concevoir des installations appropriées de traitement, et **pour les techniciens chargés de l'exploitation et de**

**la maintenance** et qui doivent former les exploitants des stations de traitement.

Les publications techniques ont souvent un caractère trop scientifique et sont de compréhension difficile pour les usagers de terrain. Des efforts ont été fournis pour formuler et illustrer ce manuel, de manière vivante, facile à comprendre et attrayante. Des problèmes inattendus et des défis sont souvent rencontrés dans la conception, la construction et l'exploitation d'un filtre. **Les informations essentielles, le «hardware» sont complétées par des anecdotes, insérées à divers niveaux du texte, le «software»** sur la complexité de l'exécution du traitement de l'eau en milieu rural. J'espère que le lecteur va non seulement apprécier ce livre, mais aussi s'y sentir à l'aise et apprécier mes aventures de promoteur de traitement de l'eau en milieu rural intéressantes.

**L'expérience pratique contenue dans ce livre est aussi et surtout le résultat des efforts fournis par nos partenaires de coopération** dans de nombreux pays en développement. Pendant la décennie passée, j'ai eu la possibilité de développer avec eux des procédures efficaces d'élimination des matières solides, de les appliquer dans des stations de traitement, de trouver des solutions adéquates à des situations difficiles - mais principalement, d'apprendre d'eux. **Mes sincères remerciements vont donc aux nombreux exploitants, personnel de formation, ingénieurs de conception et chefs de projets, qui ont partagé leurs expériences avec moi.** J'aimerais également remercier les réviseurs cités en Annexe 10 pour leurs observations et suggestions utiles. Je saisis cette opportunité pour exprimer ma gratitude aux diverses institutions et à la Direction du Développement et de la Coopération Suisse qui ont énormément soutenu le développement et la réalisation de la technologie du préfiltre à gravier.



## Résumé

La filtration lente à sable, est un procédé de traitement de l'eau de surface est particulièrement efficace dans l'amélioration de la qualité bactériologique. Toutefois, son application efficiente nécessite une eau brute de faible turbidité. Un prétraitement est donc nécessaire pour les eaux de surface contenant des charges élevées de matières solides. La floculation chimique suivie d'une décantation est une procédure d'élimination des matières solides, généralement inadaptée dans les systèmes d'alimentation en eau en milieu rural dans les pays en développement, pour plusieurs raisons, telles que la non disponibilité des produits chimiques, l'inadaptation des équipements de dosage, les difficultés d'exploitation et de maintenance, le manque de compétences techniques locales et d'exploitants bien formés.

La préfiltration, est une technique efficace pour l'élimination des matières solides. Elle est simple, efficace, ne nécessitant aucun produit chimique. Elle améliore aussi la qualité bactériologique de l'eau. Dans la préfiltration, on utilise généralement du matériau filtrant grossier comme le gravier, d'où le nom de préfiltres à gravier. Comme les filtres lents à sable, les préfiltres à gravier font amplement usage des ressources locales et nécessitent peu d'équipement mécanique. Les préfiltres à gravier représentent ainsi une technologie de prétraitement appropriée pour les systèmes d'approvisionnement en eau en milieu rural et pour les petits centres urbains dans les pays en développement.

Divers types de filtres ont été développés pour répondre aux différentes qualités d'eau brute. Les filtres à la prise et les filtres dynamiques sont souvent utilisés comme première étape dans le prétraitement, suivis des préfiltres à gravier réalisés soit en filtres à flux vertical soit en filtres à flux horizontal. Ces filtres sont généralement nettoyés hydrauliquement par un drainage rapide du massif filtrant.

Conformément au principe de barrières multiples, la réalisation de différentes étapes de préfiltration est l'option la plus rentable pour l'élimination de matières solides. C'est aussi une méthode efficiente pour l'amélioration de la qualité bactériologique de l'eau.

Les préfiltres à sable et les préfiltres à gravier sont couramment utilisés dans les systèmes d'alimentation en eau dans de nombreux pays en développement ainsi que dans les stations artificielles de recharge de la nappe souterraine dans les pays industrialisés. L'expérience pratique montre que les filtres à la prise peuvent réduire la teneur en de matières solides de 50 à 70% et les préfiltres à gravier de 90% voire plus. Par ailleurs, on a noté une amélioration de la qualité bactériologique par les préfiltres à sable et les préfiltres à gravier allant jusqu'à une réduction des coliformes fécaux de 1 à 2 unités log. Les préfiltres réduisent aussi la couleur jusqu'à un certain niveau. Il en est de même pour les matières organiques dissoutes et d'autres substances contenues dans l'eau. Toutefois, les suspensions stables avec une grande quantité de matières colloïdales sont difficiles à traiter par des préfiltres à gravier. Dans ce cas l'usage de coagulant chimique reste généralement indispensable.

Les préfiltres à sable et les préfiltres à gravier associés à des filtres lents à sable constituent une méthode de traitement fiable, durable et particulièrement appropriée pour les pays en voie de développement. Toutefois, la prise en compte de la technologie seule peut conduire à un échec, puisque le «hardware» doit toujours être complété par le «software». Il est par conséquent très important d'impliquer les futurs utilisateurs autant que possible dans la phase de planification, de former de manière adéquate les exploitants de la station de traitement et de fournir un appui à la phase d'après-projet. Ce qui contribuera à assurer une utilisation durable du système de traitement.



# PREMIERE PARTIE

## Généralités et Domaines d'Application des Préfiltres à Gravier

### 1. Historique et Expérience en Traitement de l'Eau

«Dans les premiers moments de la race humaine, on consommait l'eau telle qu'on la trouvait. Elle pouvait être potable et abondante, en grande quantité mais boueuse, rare mais bonne ou rare et mauvaise. Pour avoir plus d'eau ou de l'eau de qualité meilleure, l'homme rejoignit d'autres sources plutôt que de transporter de la bonne eau à son lieu d'habitation ou d'essayer d'améliorer la qualité de l'eau à sa disposition». Ce texte cité marque le début de l'épilogue de Baker dans «La Recherche d'Eau Potable» [1], un livre de référence qu'il a commencé à compiler au début de ce siècle et qui s'est achevé dans les années 1940. Baker poursuit en ces termes: «Les premières normes de qualité établies par les hommes n'étaient pas nombreuses: absence de boue, goût et odeur». Cependant, l'accroissement de la pollution de l'eau d'origine humaine, le développement des sciences et techniques et en santé publique, ainsi que le besoin grandissant des consommateurs en eau propre, ont contribué au développement des techniques de purification de l'eau.

**C'est au début du 19ème siècle, que les premières stations de traitement d'eau** pour l'alimentation en eau potable ont été construites en Grande Bretagne et en France. Ils comprenaient généralement des bassins de sédimentation suivis de filtres à gravier et à sable. Au cours du temps, **les filtres lents à sable ont été développés** comme un procédé efficace de traitement de l'eau et utilisés par plusieurs agences d'eau à la fin du siècle dernier. Pendant ce temps, **la Révolution Industrielle amenait les filtres rapides à sable initialement appelés «filtres mécaniques»** La demande croissante en eau et **la découverte ultérieure du chlore** pour désinfecter l'eau, ont augmenté l'utilisation des filtres rapides à sable. En 1940, il y avait près de 2,275 installations de filtres rapides à sable aux Etats-Unis contre environ 100 stations de filtres lents à sable. Un autre fait marquant lié à la technologie de traitement de l'eau était **l'utilisation des sels d'aluminium et de fer comme coagulants** dans le traitement de l'eau. Depuis

le début de ce siècle, la coagulation et la floculation combinées avec la sédimentation, la filtration rapide et la chloration en fin de traitement constituent un processus couramment utilisés en traitement de l'eau. Ce processus est maintenant considéré comme classique.

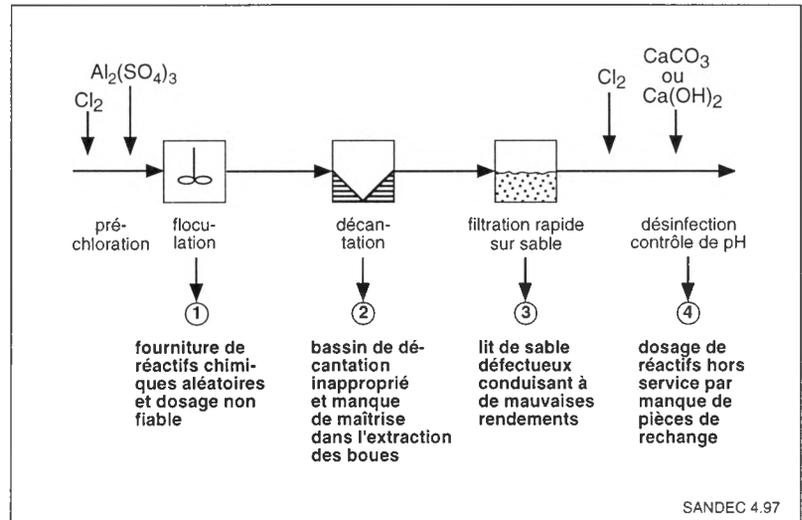
Les stations de traitement d'eau sont soit construites in situ habituellement en béton armé ou installées comme des unités préfabriquées construites par l'industrie de l'eau. La Fig. 1 illustre **l'usage intense des produits chimiques dans le traitement conventionnel de l'eau**. La matière colloïdale doit être déstabilisée par les coagulants tels que le sulfate d'aluminium ou ce fer, éventuellement en combinaison avec un dosage à la chaux pour l'ajustement du pH et de polymères ou des poly-électrolytes pour améliorer la floculation. Comme les filtres rapides n'améliorent pas de façon significative la qualité microbiologique de l'eau, le chlore doit être utilisé en fin de traitement, pour produire de l'eau propre à la consommation. Enfin, les nombreux produits chimiques ajoutés peuvent aussi avoir changé les caractéristiques chimiques de l'eau. L'eau traitée qui peut être corrosive ou former un dépôt peut sérieusement nuire au réseau de distribution. Par conséquent, l'eau traitée doit être souvent neutralisé avec de la chaux à la fin.

**Le traitement conventionnel de l'eau demande aussi d'importantes dépenses en énergie et en équipement électromécanique.** Le plus souvent l'eau brute doit être pompée à travers des étapes différentes de traitement. La floculation nécessite l'approvisionnement en énergie pour un mixage hydraulique ou mécanique, l'évacuation des boues des bassins de décantation est souvent mené avec des racleurs mécaniques et les filtres rapides à sable sont lavés à contre-courant. Des pompes de dosage sont nécessaires pour une administration adéquate des réactifs chimiques. Bref, le traitement conventionnel demande une utilisation intense d'équipement mécanique souvent sophistiqué.

**L'exploitation fiable et efficace d'une station de traitement conventionnel de l'eau est une tâche ardue** Un approvisionnement continu en produits chimiques

Fig. 1

Les problèmes d'exploitation dans les stations conventionnelles de traitement d'eau



doit être garanti, les pièces de rechange des équipements mécaniques doivent être stockées ou être facilement accessibles, et la station de traitement doit être exploitée par un personnel expérimenté et ayant des aptitudes. La structure locale devrait supporter la maintenance et les réparations des éléments de la station de traitement. Cependant, ces critères sont rarement réunis dans les conditions existant dans les zones rurales des pays en développement.

Wagner mentionne dans la préface du manuel «L'Amélioration des Stations de Traitement d'Eau» [2] qui est le résultat d'un groupe de travail de l'OMS sur l'exploitation et la maintenance, réalisé dans les années 1990 que: «Dans la majorité des stations, particulièrement dans les pays moins développés, la plupart des équipements coûteux ne fonctionnent pas correctement du au manque de compréhension ou non respect des consignes pour leur entretien et leur fonctionnement». Seules quelques stations sont conçues sur la base des expériences entreprises à l'échelle de laboratoire ou sur pilote. Le besoin de dimensionnement correct est plus urgent dans les pays à faibles ressources. Cependant, les études de faisabilité sont en fait considérées comme un luxe plutôt qu'une nécessité dans ces pays. La défaillance la plus couramment observée dans le traitement de l'eau réside dans l'utilisation de coagulants pour l'eau brute. Une dilution incorrecte de la solution, des doses inadéquates et un dosage inapproprié sont les défauts les plus courants.

Des difficultés sont aussi rencontrées au niveau de la floculation. Le manque de contrôle de l'énergie de mixage provoque la formation de petits floccs ayant une faible vitesse de sédimentation. Les décanteurs sont souvent mal conçus avec des courts circuits, de mau-

vaise extraction de la boue, conduisant à de mauvais rendement et colmatant les filtres. Ceux-ci en retour ne peuvent pas être nettoyés correctement et produisent de l'eau filtrée ayant une turbidité élevée. En fin un équipement de chloration médiocre et inopérant est monnaie courante dans les installations de traitement d'eau dans les pays en développement, car ces équipements proviennent d'habitude des pays industrialisés et pour cela, de la monnaie étrangère est nécessaire pour l'achat de ces installations et des pièces de rechange.

**Les difficultés décrites rencontrées dans le traitement conventionnel de l'eau conduisent à la production d'eau de qualité irrégulière et souvent impropre à la consommation.**

L'objectivité exige que les **difficultés opérationnelles vécues avec les filtres lents à sable soient mentionnées** à ce niveau. Au début, les filtres lents à sable ont été développés pour combattre les épidémies de choléra et de typhus dans l'Europe du siècle dernier. Sur la base de sa simplicité et de son coût bas, le concept du filtre lent à sable a été exporté sans discrimination dans les pays en développement du début des coopérations techniques. Les filtres lents à sable fonctionnent parfaitement bien avec de l'eau brute à faible turbidité comme c'est le cas généralement en Europe avec les eaux de surface. Cependant, la qualité de l'eau brute dans ces climats tropicaux peut varier de façon considérable, spécialement la turbidité et la quantité en matières solides. Ce transfert de technologie s'est donc révélé inadéquat. **L'incapacité des filtres lents à sable à soutenir le fonctionnement du filtre lorsqu'il est soumis à des charges de turbidité élevées devient évidente.** L'expérience pratique à travers le monde a révélé que la conception du filtre lent à sable a été souvent incomprise, l'utilisation des procédés de prétraite-



Photo 1

*Installation compact – un exemple de traitement conventionnel de l'eau*

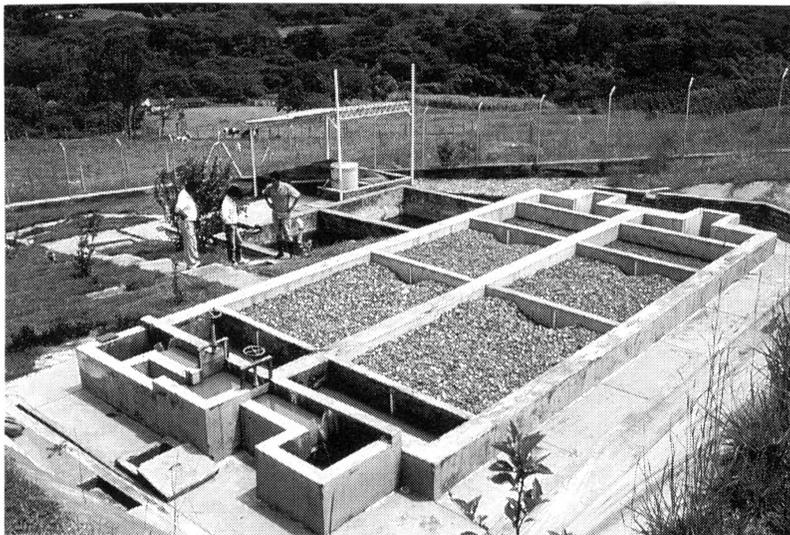


Photo 2

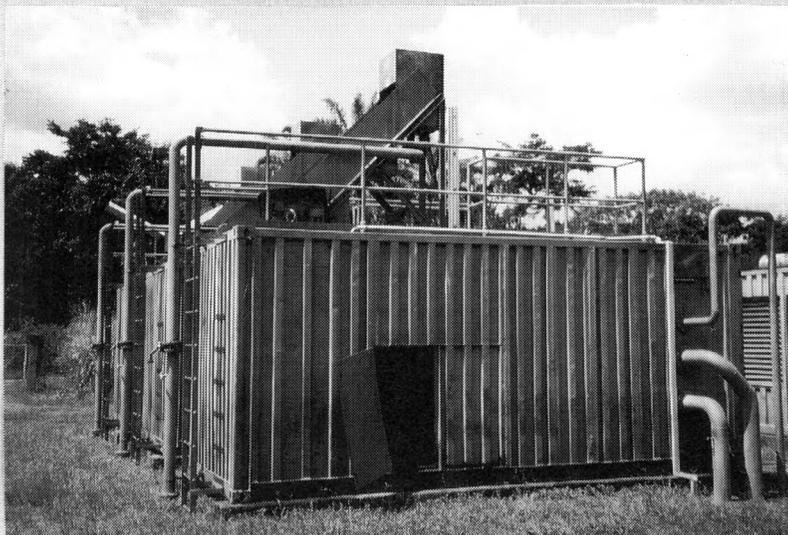
*Préfiltres à gravier et filtres lent à sable – un choix alternatif de traitement*

ment, tels que la décantation simple ou la floculation et la décantation, était soit inefficaces, soit peu fiables et peu appropriés et les problèmes d'exploitation et de maintenance ont contribué à la médiocre performance de ces filtres lents à sable. Au début des années 1960 au Brésil par exemple, les communautés n'étaient pas formées de façon adéquate à l'exploitation du filtre lent à sable, contribuant ainsi à un taux d'échec élevé pour ces filtres [3]. Au Cameroun par contre, les filtres lents à sable fonctionnent de façon adéquate depuis vingt ans. Cependant, à cause de la détérioration de la qualité de l'eau brute, provoquée par la déforestation progressive des zones de captage, ces filtres étaient confrontés à des difficultés d'exploitation croissantes qui ont requis la réhabilitation de la station de traitement [4]. En fin, une évaluation de la performance de quatre installations de filtre lent à sable menée en Inde en 1993 révéla que la conception actuelle, la construction et l'exploitation, y compris la protection de la source,

sont loin d'être satisfaisantes et conduit souvent à une performance médiocre du filtre [5].

**Des projets réussis demandent une approche multidisciplinaire nécessitant de prendre en compte des données variées.** Les conditions socio-culturelles, institutionnelles et naturelles doivent être considérées de paire avec les aspects financiers et techniques. La synthèse de toutes ces informations conduit à des solutions appropriées et durables. Ce manuel se concentre principalement sur les aspects techniques et donne des réponses peut-être aux problèmes les moins difficiles. Du point de vue de la technique, **le développement de la technologie de préfiltre à gravier contribue de façon appropriée à l'exploitation efficace et fiable du filtre lent à sable, dans les programmes d'alimentation en eau en milieu rural dans les pays en développement.**

## Un «Eléphant blanc» bleu



*Guillaume, le chauffeur du projet et moi, allions au nord de la capitale d'un pays en Afrique de l'Ouest. Le soleil de midi tapait sur la route pavée, l'air vibrait et je somnolais à cause de la chaleur. Nous approchions de Ndikinimeki, un petit centre administratif de la province. Soudain, je remarquai quelques taches bleues sombres dans une plantation de bananiers à 150 m de la grand-route. J'ordonnai à Guillaume d'arrêter la voiture immédiatement, ce qu'il fit quelques 30 m plus loin. Nous avons fait marche arrière jusqu'à une petite piste menant à la plantation où des gens attendaient un moyen de transport pour Ndikinimeki. Je leur ai demandé à voir le responsable de la station de traitement mais il était en ville.*

*Nous avons conduit sur les 100 premiers mètres vers la station de traitement mais avons dû quitter la voiture près d'un pont et marcher sur les 50 derniers mètres. La porte principale était fermée, aussi nous l'avons escaladée et nous nous sommes retrouvés dans un terrain prévu au départ pour la station de traitement, mais qui était pour le moment transformé partiellement en ferme. De jolis bananiers poussaient sur un sol fertile et humide situé le long de la rivière. L'installation de traitement comportait sept grands containers posés sur de petits blocs de fondation en béton. Tous les containers étaient peints en bleu et avaient des portes larges. Nous grimpâmes sur un des containers pour examiner le système de traitement. L'installation était apparemment conçue selon un système de traitement conventionnel comprenant la pré-chloration, l'aération, la coagulation, la correction de pH, la floculation, la décantation, la filtration rapide sur sable, le contrôle de pH et la désinfection. L'eau cependant ne coulait pas à travers les différents dispositifs de traitement. Seuls les cascades et les bassins de décantation étaient partiellement remplis avec de l'eau de pluie re-*

*liquat de la saison des pluies qui avait pris fin il y a quelques semaines.*

*Nous avons rejoint le sol et essayé de frayer notre chemin à travers la végétation et les tuyaux d'assemblage disséminés partout sur la place. Nous réussissons à atteindre les portes latérales que nous ouvrons. C'est alors que nous sommes frappés d'horreur par ce que nous voyons. Des pompes de dosage de réactifs rouillées étaient toujours dans les containers, certaines tombaient en morceaux, des câbles électriques du tableau de commande pendaient d'un mur à l'autre et au fin fond du container nous avons trouvé une paire de sandales appelée localement tongs. En ouvrant un autre container servant de magasin pour les réactifs chimiques, quelques lézards disparurent à travers les trous rouillés et deux maigres sacs de sulfate d'aluminium étaient tassés dans un coin. Le dernier container contenait le tableau de commande générale. Deux ampoules rouges étaient encore allumées et le petit écran indiquait 004 382 heures de fonctionnement des pompes. Donc, l'installation aurait environ deux ans d'exploitation si l'eau était pompée six heures par jour.*

*Guillaume le chauffeur était plutôt en colère lorsque nous quittions la place. Il se rendit compte que cela représentait une grande perte pour les populations et le pays. Surtout quand je lui expliquai qu'avec l'argent investi dans cette station on peut réaliser une cinquantaine d'installations robustes de préfiltres à gravier et de filtres lents à sable, procurant un certain revenu aux entrepreneurs locaux ainsi qu'un investissement bon et durable pour le bien-être général. A ce moment précis, nous passâmes à côté d'une grande villa de style européen avec des volets bleus, avec un grand jardin verdoyant et clôturée de murs hauts...*

## 2. Traitement de l'Eau: le Concept

Le traitement de l'eau est généralement un procédé complexe qui risque de s'échouer si les objectifs ne sont pas bien définis, si la qualité de l'eau brute n'est pas bien examinée et si les méthodes de traitement sont inadéquates. Une idée précise du traitement, ainsi qu'une appréciation raisonnable des caractéristiques de l'eau brute et de ses variations qualitatives saisonnières, avec l'association des procédés de traitement les plus appropriés, permet d'éviter des échecs.

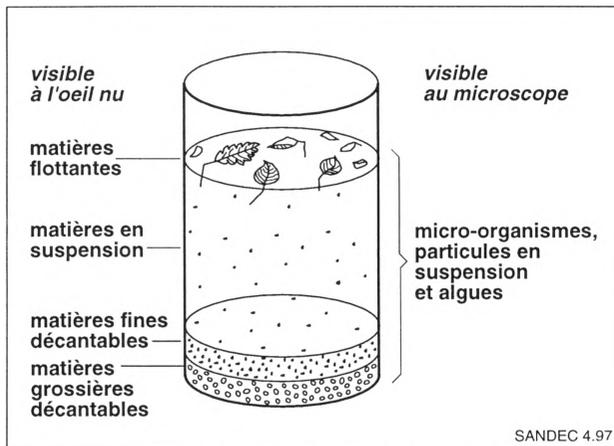


Fig. 2 Matières solides dans l'eau de surface

Un seau plein d'eau turbide de rivière comme illustré en Fig. 2, peut contenir des matières flottantes, telles que des débris de bois, des feuilles et de l'herbe; du sable fin et grossier déposés au fond, et d'autres matières fines en suspension, en forme de particules de limon et d'argile ou d'algues. Cependant, **il peut aussi y avoir des micro-organismes dangereux, porteurs de tant de maladies infectieuses transmises par la consommation ou le contact d'eau polluée, ne pouvant pas être détectés à l'oeil nu.** La taille de ces organismes, tels les protozoaires, bactéries et virus est de l'ordre de quelques micromètres ( $1\mu\text{m}$  est un millième de millimètre) ou même moins. L'élimination ou l'inactivation de ces organismes pathogènes est de première importance dans tout concept de traitement de l'eau. Une tâche difficile, si l'on considère leur petite taille, et leur concentration souvent faible dans un si grand volume d'eau. **La filtration lente à sable et la chloration** sont ainsi, les procédés les plus répandus de traitement car ils sont capables d'améliorer en particulier la qualité microbiologique de l'eau.

L'efficacité de la chloration et de la filtration lente à sable est fortement influencée par le niveau de turbidité de l'eau à traiter. La turbidité reflète principalement la quantité de particules fines en suspension dans l'eau. Un grand nombre de micro-organismes, fatigués de nager s'accrochent eux-mêmes comme des «boat-people» à la surface de ces particules. Les particules protègent les micro-organismes du chlore mortel. Dans les filtres lents à sable, les agents pathogènes observent triomphalement, comment les particules fines colmatent rapidement la surface du sable.

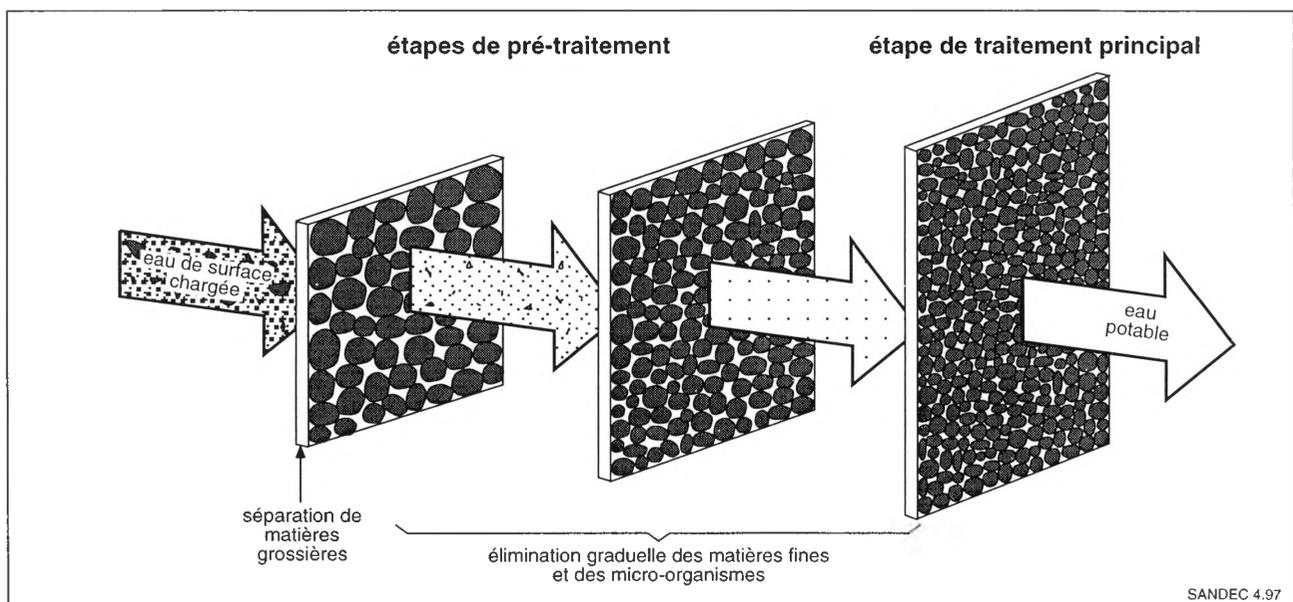


Fig. 3 Concept de traitement d'eau à barrières multiples

**L'utilisation efficace de la désinfection au chlore et le fonctionnement efficace des filtres lents à sable sont possibles seulement avec de l'eau peu chargée et pratiquement exempte de matières solides.**

Comme illustré en Fig. 3, **l'eau doit subir un traitement par étapes**, et plus spécialement si elle contient des impuretés de tailles assorties. La première étape qui est aussi la plus facile des systèmes de traitement de l'eau est la séparation des solides grossiers. Les particules plus fines sont séparées à l'étape suivante de prétraitement et enfin, le traitement de l'eau se terminera avec l'élimination ou la destruction des solides minuscules et des micro-organismes. Ces différentes étapes de prétraitement contribueront à réduire les micro-organismes pathogènes. Les «boat-people», c'est-à-dire les agents pathogènes accrochés à la surface des solides en suspension seront coincés quand les solides sont séparés. Certains des micro-organismes flottant dans l'eau peuvent aussi être repoussés à la surface du sable et adhérer au film biologique.

**Les matières solides et les micro-organismes font donc face à une multitude de barrières dues au traitement.** Puisque l'efficacité de traitement s'accroît après chaque barrière dans la direction de l'écoulement, il devient de plus en plus difficile pour les impuretés de passer à travers.

**Le traitement des eaux de surface nécessite généralement au moins deux étapes de traitement comme illustré en Fig. 4. La première étape aussi appelée prétraitement consiste principalement à éliminer des matières solides. Les grilles, les compartiments à prise, les bassins de décantation, et les filtres à gravier et à sable grossier servent typiquement comme unités de prétraitement. La deuxième étape, couramment considérée comme l'étape du traitement principal, est utilisée principalement pour éliminer ou détruire les micro-organismes restants et les dernières traces de matières solides. La filtration lente à sable et la chloration constituent les procédés de traitement les plus couramment utilisés dans cette seconde phase.**

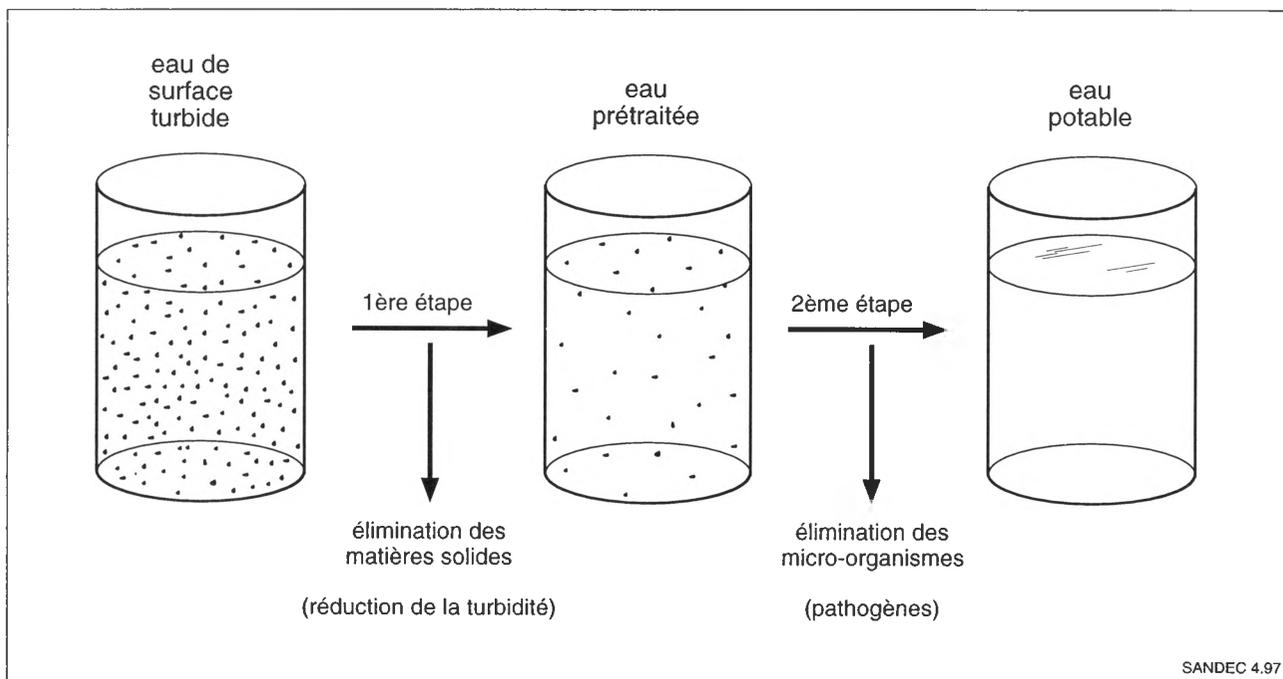


Fig. 4 Traitement des eaux de surface en deux étapes

## 3. Qualité de l'Eau Brute

### 3.1 La caractérisation de l'eau brute

Les eaux de surface doivent généralement être traitées avant de servir comme eau de boisson puisqu'elles sont hautement exposées à la pollution naturelle et d'origine humaine. L'étendue du traitement dépend cependant du degré de pollution de l'eau qui est à déterminer avant de concevoir toute structure de traitement. **La conception d'une station de traitement en milieu rural est basée essentiellement sur les principaux paramètres de qualité suivants:**

- la turbidité
- la couleur
- la concentration en matières solides
- le degré de pollution fécale.

**Bien souvent cependant, peu d'informations sont disponibles sur la qualité des eaux de surface** destinée à alimenter un système de traitement d'eau potable en milieu rural. Dans de tels cas, **les étapes suivantes d'évaluation préliminaire de la qualité de l'eau peuvent être suivies:**

- Inspection sanitaire de la zone de captage
- Analyse de la qualité de l'eau brute.

La référence [6] présente une description détaillée de ces deux étapes d'évaluation de la qualité de l'eau en milieu rural. Les informations obtenues par **l'inspection sanitaire sont de nature plus qualitative ou descriptive** et reflètent la situation à long terme du cours d'eau. Les résultats **d'une analyse de l'eau présentent une évaluation quantitative** de la source d'eau examinée mais pourraient simplement refléter la qualité au moment de l'échantillonnage. **Les deux méthodes se complètent**, cependant, une inspection sanitaire approfondie de la zone de captage fournit souvent une méthode plus fiable et plus pratique pour identifier les risques et déterminer la qualité générale de l'eau. Plusieurs analyses d'eau doivent être menées pour déterminer l'étendue, la durée et les fréquences de fluctuation de la qualité de l'eau. Cependant, de telles informations sont rarement disponibles avant la conception des installations de traitement. L'analyse de la qualité de l'eau est souvent réalisée dans une étape plus tard pour contrôler seulement la performance des installations de traitement construites.

Des informations détaillées sur la qualité de l'eau brute faciliteront la conception du filtre. Néanmoins une prévi-

sion précise de la performance de filtre n'est guère possible à cause de la complexité du processus de filtration.

### 3.2 La zone de captage

**Une caractérisation générale de la zone de captage et de son hydrologie, accompagnée d'une inspection sanitaire de la zone, peut fournir des informations pertinentes sur la qualité de l'eau brute.** Les caractéristiques spécifiques de la zone de captage tels le climat, l'hydrogéologie, la topographie, la végétation ainsi que les activités humaines et animales, ont une influence appréciable aussi bien sur la qualité et la quantité que sur les variations des eaux de surface. La quantité de pluie et sa répartition annuelle, avec les conditions du sol et de la topographie sont des critères significatifs qui affectent les caractéristiques naturelles d'écoulement d'eau de surface. Les activités humaines (déforestation, agriculture et colonisations) dans la zone de captage peuvent aussi induire des changements qualitatifs et quantitatifs dans le régime naturel des eaux de surface.

**Le niveau de turbidité et la concentration des matières solides en suspension dans une rivière sont souvent liés aux fluctuations saisonnières de son débit.** La période de forts débits est influencée par la superficie de la zone de captage; d'habitude, de courtes et fortes tempêtes affectent d'avantage l'écoulement des petites rivières des plateaux que celui des grandes rivières des plaines. **Un examen du lit de la rivière et de ses berges** fournit certainement des informations de première main sur les caractéristiques d'écoulement de la rivière. Une inspection plus rapprochée des berges et des sédiments dans le lit peut fournir des détails sur le type de solides charriés par la rivière à différentes périodes d'écoulement. **Des informations fournies par les autochtones** porteront plus sur la fréquence et la durée des pointes de turbidité plutôt que sur les niveaux de turbidité absolue, qui peuvent seulement être déterminés avec un équipement de mesure.

**La pollution fécale n'est pas visible dans un échantillon d'eau.** Même une eau claire et agréable peut contenir des micro-organismes dangereux provoquant des maladies. La densité de la population, les pratiques d'assainissement et les conditions générales de santé publique influencent la qualité bactériologique de l'eau de surface. La qualité varie fortement; par exemple une rivière des plateaux, drainant une zone bien protégée et

non habitée, si elle est utilisée pour la consommation, porte probablement moins de risque pour la santé publique, qu'une eau de surface drainant des eaux usées d'un quartier pauvre, sans installations sanitaires convenables, même si elle est utilisée uniquement comme eau de lavage. **Les points de pollution de l'eau de surface doivent être détectés par une inspection sanitaire de la zone de captage.** La protection de la source est la première étape dans le traitement de l'eau. Des actions préventives doivent être menées une fois que ces points de pollution sont identifiés. **Une étude des conditions de santé publique est nécessaire pour analyser la présence de maladies endémiques.** Une telle étude peut aussi identifier le besoin d'améliorer la situation par la construction d'un système d'alimentation en eau et, particulièrement, par la construction des installations de traitement d'eau. Néanmoins, l'eau de surface demeure non protégée et exposée en permanence à la contamination par une pollution d'origine humaine et animale.

Par conséquent, un traitement devient nécessaire si elle doit servir comme eau de consommation.

### 3.3 Analyse de la qualité de l'eau

En milieu rural, **l'objectif principal du traitement de l'eau de surface est d'améliorer sa qualité bactériologique.** L'eau de boisson ne doit contenir aucun organisme pathogène. Ces organismes sont souvent difficiles à détecter par des méthodes analytiques. Par conséquent, la qualité bactériologique de l'eau est recherchée à travers des indicateurs de pollution. Les bactéries utilisées pour une telle analyse sont les coliformes fécaux, *Escherichia coli* et les stréptocoques fécaux. Ces bactéries sont présentes en grandes concentrations (10 à 1 000 millions de bactéries coliformes dans 1 gramme de fèces) dans les fèces des êtres humains et des animaux à sang chaud. Si les eaux contiennent des indicateurs fécaux, les micro-organismes pathogènes sont également considérés comme y étant présents.

**Les analyses de coliformes fécaux** sont réalisées soit par la technique de filtration par membrane ou par la méthode des tubes multiples. Des équipements de contrôle de terrain (tels que ceux fabriqués par DelAgua Ltd [7]) sont disponibles et utilisent la technique de filtration par membrane. La méthode des tubes multiples s'applique souvent dans les laboratoires centraux. L'utilisation des équipements de contrôle de terrain nécessite une formation de base dans les procédures du contrôle, la supervision initiale des analyses de terrain et,

plus tard, la manipulation correcte et soignée pendant les analyses de routine. Pour obtenir des données fiables, l'analyse des coliformes fécaux doit donc être réalisée par des personnes spécialement formées.

**Le type et la qualité de matières solides** constituent le deuxième aspect important dans la caractérisation de l'eau de surface. Des appareils de mesure coûteux et très sensibles ont été développés pour l'analyse de la taille, la forme et la concentration des particules solides. Toutefois, un tel équipement est rarement disponible ni même nécessaire pour la conception des structures de traitement. La méthode routinière standardisée de détermination de la concentration des matières en suspension n'est elle-même pas souvent pratique puisqu'elle nécessite une balance hautement précise, une pompe aspirante et un four de séchage, installés de préférence dans une salle climatisée. Un tel équipement, même s'il est disponible, est souvent en panne. Par conséquent, la détermination des caractéristiques physiques des matières solides à éliminer par des procédés de traitement adéquats, nécessite pour le milieu rural des méthodes de contrôle de terrain robustes et simples.

**Les caractéristiques physiques des matières solides** peuvent être évaluées par différentes méthodes d'analyse simples, facilement appliquées par tout exploitant de station de traitement. Ces tests simples sont décrits en Annexe 1 et incluent les mesures suivantes:

- mesure de la turbidité à l'aide d'un simple tube
- détermination du volume de matières décantables à l'aide d'un cône de mesure
- détermination de la filtrabilité à l'aide de papier-filtre
- mesure de la stabilité de la suspension à l'aide d'un récipient et des lectures de la turbidité
- test de classification des matières solides à l'aide d'une bouteille ordinaire
- caractéristiques de la taille des particules par la filtration séquentielle par membrane.

**Les paramètres de la qualité chimique de l'eau** devraient être déterminés cas par cas s'il y a lieu du cas où on suspecte une pollution de l'eau causée par des conditions hydrogéologiques, l'agriculture ou l'industrie. L'équipement simple de contrôle de terrain, tel que décrit en [8, 9] peut être utilisé pour l'évaluation préliminaire de la qualité chimique de l'eau. En particulier, le

manganèse, la couleur et l'agressivité de l'eau sont des paramètres importants, devant être examinés. La quantité de matières organiques dissoutes est aussi un pa-

ramètre à déterminer, puisqu'elle aura une influence importante sur l'activité biologique et la demande d'oxygène dans les filtres.

## ***Le traitement de l'eau commence dans la zone de captage***



*Jacob, exploitant du système d'alimentation en eau de Guzang depuis plus de 20 ans montre les collines arides du bassin versant de la rivière. Sa nature radieuse devient grave et il semble tout à fait découragé. La situation a fortement changé depuis l'inauguration du projet d'hydraulique. Avant, l'eau brute était captée à partir d'une petite rivière claire bien protégée par une forêt dense. Un bassin de décantation et deux filtres lents à sable ont été installés pour traiter l'eau. Le fonctionnement de ces installations ne posait aucun problème pendant les premières années. C'est par la suite que cela est devenu de plus en plus difficile et pendant ces trois dernières années, le fonctionnement du filtre lent à sable est devenu un véritable problème. Maintenant, les filtres doivent être nettoyés toutes les deux semaines, occasionnant des pénuries d'eau dans le village. La population condamne l'exploitant pour cette situation, pourtant Jacob essaie toujours de faire de son mieux pour fournir de l'eau au nombre croissant de villageois. Cette croissance de la population exerce une pression forte sur les terres disponibles qui sont rapidement transformées en champs de*

*culture alors qu'elles étaient des zones protégées du bassin versant. Au cours des années, la communauté s'est étendue dans la zone de captage d'eau et la déforestation, l'agriculture et les pratiques de pâturage inadéquates ont négativement affecté la quantité et la qualité de l'eau de la petite rivière.*

*La délégation du Bureau de la Circonscription Administrative, consciente de la situation, a promis de résoudre le problème de deux côtés: comme solution immédiate, les préfiltres à graviers vont remplacer le bassin de sédimentation; à la longue cependant, l'alimentation en eau de Guzang peut seulement être sauvée par un programme de protection globale de la zone de captage. Les fermiers du bassin versant ne seront pas chassés de la zone mais sensibilisés à changer leurs pratiques d'utilisation de la terre, par l'adoption de l'agroforesterie et des pratiques de pâturage améliorées. La réhabilitation des installations de traitement et la conservation du bassin versant sont essentielles pour assurer une alimentation plus durable de Guzang en eau et en nourriture.*



## 4. Séparation des Matières Solides

Examinons maintenant la première phase du traitement; à savoir, la séparation des matières solides. Nous pouvons être confrontés à **divers types de matière solide comme on peut constater dans notre seau** rempli d'eau de rivière turbide. La diversité, illustrée dans la Fig. 5, dépend principalement du type d'eau de surface et des procédés de purification naturelle qui peuvent éliminer une partie des solides. Mais on peut aussi avoir une génération d'autres matières indésirables à cause des phénomènes biologiques naturels. La conception du schéma de traitement et le choix de la source et de la prise d'eau, devrait prendre en compte **la purification naturelle**.

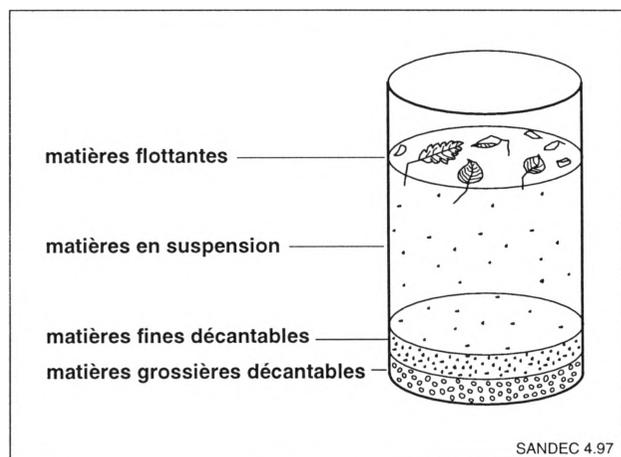


Fig. 5 Types de matières solides à séparer

**Les procédés de sédimentation et de filtration sont principalement utilisés pour la séparation des matières solides.** Ces procédés seront discutés en détail dans les deux prochaines sections.

Cependant, faisons le point sur les particularités des **différents types d'eau de surface** et leur influence sur les diverses matières solides dans l'eau brute:

- **Les propriétés de la zone de captage drainée** et les caractéristiques des eaux de surface influencent le type et la concentration de matières solides dans l'eau brute. La vitesse de l'écoulement et le taux d'érosion influencent la quantité de matières solides décantables charriés par l'eau. **Les eaux de surface courantes et stagnantes sont nettement différentes de par le type de solides rencontrés.** Le débit turbulent d'un cours d'eau peut charrier des matières grossières décantables, qui décantent dans l'eau stagnante ou coulant lentement. Les algues vivant

dans les mares et les lacs augmentent la concentration de matières en suspension dans l'eau.

- **L'eau de surface courante** est souvent soumise à de changements quantitatifs et qualitatifs radicaux. La répartition de pluie annuelle influence la fluctuation saisonnière de l'eau, surtout par rapport à la turbidité et à la concentration en solides. L'eau de surface courante transportera souvent des matières solides décantables de concentration variée selon les différentes périodes de l'année. Pendant la saison sèche, les petites rivières des plateaux ont généralement une faible turbidité, cependant, elles peuvent présenter des pointes de turbidité élevées, de courte durée lors des pluies torrentielles. Les grandes rivières des plaines peuvent avoir une turbidité modérée pendant l'année mais avec des périodes relativement longues de turbidité accrue.

- **Dans les eaux de surface stagnantes**, la quantité et le type de matières solides varient graduellement au cours de l'année. En fait, le grand volume d'eau stockée dans les lacs, les réservoirs et les mares préconditionnent la qualité de l'eau. Des particules inorganiques grossières se déposent au fond de l'eau; les débris de matières organiques légers tendent à flotter à la surface de l'eau, et les matières organiques dissoutes peuvent être transformées par le processus de photosynthèse en algues et en plancton. Donc, **toute source d'eau stagnante agit comme une première étape de prétraitement** puisque l'eau qui y entre et qui y est stockée est soumise à la purification naturelle. En conséquence l'eau des retenues est généralement caractérisée par des fluctuations minimales de la qualité de l'eau. Cette stabilité élevée de la qualité d'eau brute facilite habituellement l'exploitation des installations de traitement.

- **Les eaux de surface charrient des solides de différentes tailles**, tels du sable grossier, du limon et de l'argile fine. Les conditions de flux irréguliers, ont pour conséquence de répartir les solides de façon inégale à travers la section de la rivière. Des solides grossiers dérivent vers les zones convexes de la rivière alors que les solides fins sont poussés par l'eau vers les zones concaves de la rivière formant ainsi une zone de dépôts. **Le choix d'un site approprié pour la prise d'eau** contribue à réduire la quantité de fines particules captées, qui sont difficiles à éliminer par les procédés de traitement. La prise devrait donc se placer à la partie extérieure ou du côté de l'érosion de la courbe de la rivière, en vue de réduire l'admission des matières fines et d'éviter l'envasement des infrastructures à la prise.

■ **Les eaux de surface peuvent aussi charrier des matières grossières flottantes** pouvant bloquer et même endommager une partie des installations de traitement d'eau. Les matériaux indésirables sont donc retenus dès le début par des grilles ou des planches à écume. **Des tamis fixes** (par exemple une grille grossière suivie d'un tamis plus fin) **sont souvent utilisés** pour éviter les obstructions et les pertes de charge excessives.

Bref, si les eaux de surface sont utilisées comme source d'eau brute dans un système d'alimentation en eau potable, la préférence devrait aller à l'eau calme, pourvu que des algues ou la couleur en excès ne créent pas de problèmes particuliers de traitement. Les procédés de purification naturelle réduisent en particulier la concentration des matières solides par la décantation; et les variations minimales de la qualité de l'eau contribuent à réduire et à simplifier le degré de traitement requis. Les eaux courantes par contre présentent souvent des changements rapides de la qualité de l'eau rendant le traitement de l'eau plus difficile.

#### 4.1 La décantation

Les petits galets ou les graines de sable se déposeront toujours dans l'eau tranquille. Ce procédé, appelé sédimentation, est fonction en même temps des propriétés physiques des matières solides et de l'eau. La vitesse

de décantation est influencée par la densité, la taille, et la forme de la particule, ainsi que la viscosité et les conditions hydrauliques de l'eau. **Les bassins de débouage et de décantation sont tout à fait efficaces pour éliminer les solides relativement lourds et grossiers**, comme le sable et les particules de limon. Les matières inorganiques de taille supérieure à 20 µm (0,02 mm) s'éliminent habituellement par la sédimentation simple et sans utilisation de réactifs chimiques.

**Les bassins de décantation** sont rectangulaires, carrés ou de forme circulaire. Les bassins sont exploités de façon continue ou intermittente. Dans les bassins à l'exploitation continue, la direction de l'écoulement est horizontale ou verticale. Dans les bassins circulaires, l'écoulement est plus complexe et les conditions sont instables pour le cas des bassins au fonctionnement vertical. Donc, **les bassins rectangulaires à flux horizontal et fonctionnant de façon continue sont recommandés** pour les projets d'alimentation en eau en milieu rural.

**Les bassins de débouage sont souvent installés dans les petites rivières.** Comme il a été montré en Fig. 6, un petit déversoir est construit dans le cours d'eau pour surélever le niveau d'eau et réduire la vitesse d'écoulement. Les matières facilement décantables sont alors éliminées à l'amont du déversoir, équipé d'une petite vanne de fond pour permettre l'évacuation périodique des dépôts. La prise d'eau peut être intégrée à la paroi du déversoir, dans une zone où l'écoulement est assez fort pour effectuer l'élimination des matières flottantes retenues.

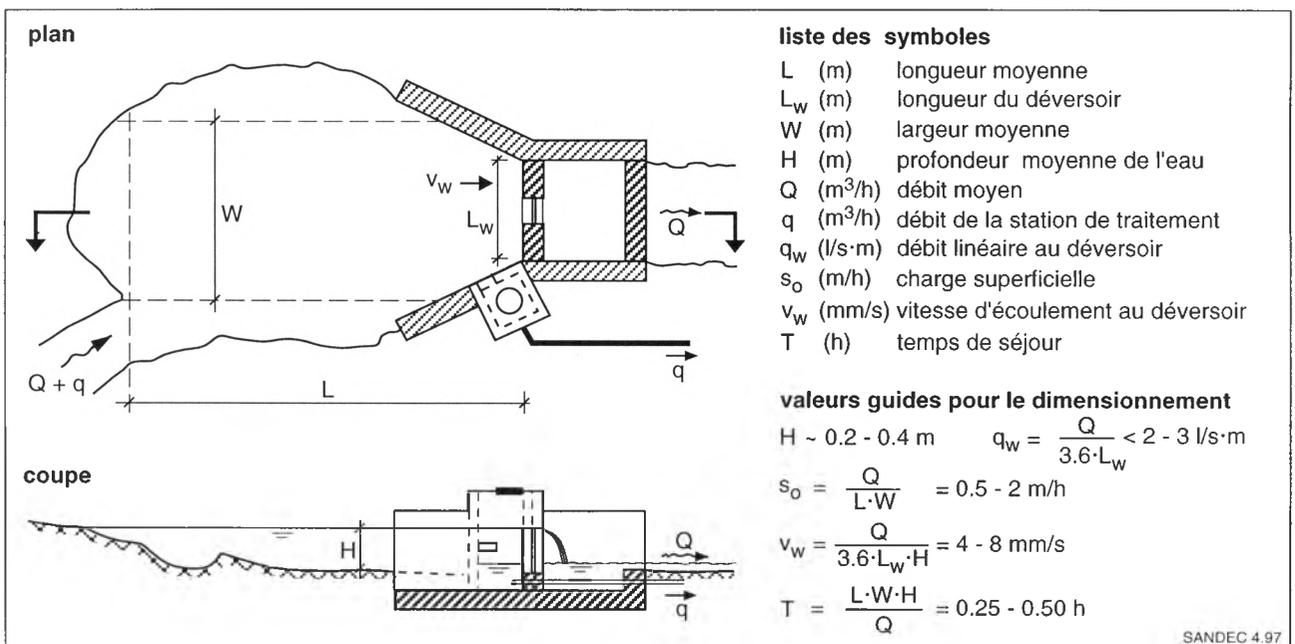


Fig. 6 Schéma et conception d'un bassin de décantation

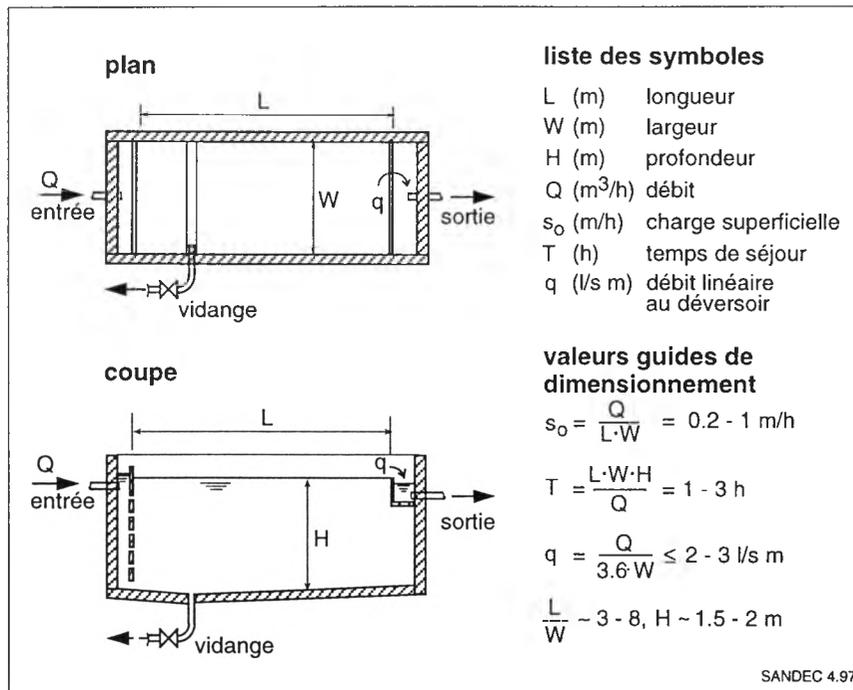


Fig. 7

Présentation et conception d'un bassin de décantation

**Les bassins de décantation séparent les solides plus fins comme la boue, l'argile et une partie des matières en suspension.** L'eau brute et turbide entre latéralement dans le bassin et est répartie également sur toute la largeur (coupe) transversale du bassin. Les solides décantent dans le fond du bassin sous l'influence de l'écoulement laminaire et l'eau claire est collectée d'une manière uniforme sur toute la largeur du côté opposé du bassin. **Pour obtenir une bonne clarification, les particules devraient traverser une hauteur de chute de 1 à 3 m égale à la profondeur du bassin.** La boue accumulée est périodiquement évacuée du fond du bassin. L'efficacité d'élimination des solides dans un bassin de décantation dépend principalement de la charge superficielle hydraulique, de la profondeur du bassin et du temps de séjour. Des valeurs guides de dimensionnement pour un bassin de décantation sont données dans la Fig. 7; cependant, elles doivent être choisies selon les caractéristiques de décantation des particules solides. Celles-ci peuvent être déterminées lors d'un test de décantabilité avec un tube transparent; pour des informations complémentaires, consultez l'annexe 1. Le temps enregistré pour atteindre un certain niveau de clarification dans le test doit être multiplié par un facteur trois pour tenir compte des conditions défavorables d'écoulement dans un bassin de grandeur nature. Des charges superficielles faibles sont appliquées pour les eaux brutes avec des caractéristiques de décantabilité médiocres, et dans de petites installations avec des conditions de fonctionnement variables.

Même **des bassins de décantation** correctement dimensionnés et exploités, **sépareront seulement une**

**partie des matières en suspension** Avec l'aide de coagulants tels les sels d'aluminium ou de fer, les suspensions peuvent être déstabilisés. Les forces de répulsion entre les particules individuelles sont neutralisées provoquant la formation de petits floccs ayant de meilleures caractéristiques de sédimentation. Les coagulants sont utilisés de manière intense dans les systèmes de traitement classique de l'eau. Cependant, la **floculation, suivie de décantation, est déjà une technique de traitement avancée** nécessitant un personnel expérimenté et des structures bien équipées; deux conditions rarement réunies dans les zones rurales des pays en développement. Les réactifs chimiques doivent souvent être importés de l'étranger et payés en devises étrangères. Comme les problèmes de transport sont courants dans ces pays, l'approvisionnement suffisant et fiable en réactifs chimiques à des stations de traitement éloignées est encore une pierre d'achoppement. Le dosage est aussi un art en soi, car la qualité variable de l'eau brute nécessite une adaptation du dosage qui à son tour requiert un contrôle professionnel de la qualité. Des instruments précises et sensibles de dosage sont attaqués par l'action corrosive des réactifs chimiques. Le traitement des eaux avec des réactifs chimiques nécessite alors un personnel compétent et expérimenté dans les méthodes de contrôle de la qualité, dans l'ajustement des dosages, et en maintenance ainsi qu'en réparation des équipements de dosage. Enfin, l'utilisation des réactifs chimiques augmente de beaucoup les coûts de fonctionnement. Dans la pratique, **les systèmes d'alimentation en eau des zones rurales ont souvent des problèmes considérables avec le traitement chimique de l'eau.** Une application fiable et réussie de la

floculation chimique est donc, plutôt irréaliste pour la plupart des petits réseaux d'alimentation en eau. Le procédé de coagulation chimique suivi de sédimentation utilisé couramment dans les réseaux de traitement classique pour séparer les matières en suspension et colloïdales échouera généralement pour le traitement de l'eau en zones rurales et n'est donc pas recommandés.

Pour conclure, on **peut dire que les bassins de débouage et les bassins de décantation sont tout à fait efficaces pour éliminer les matériaux solides grossiers et facilement décantables**. Ils sont utilisés comme des étapes préliminaires de traitement, plus spécialement pour traiter l'eau brute tirée des cours d'eau courante avec des concentrations élevées de matières solides. Dans les stations de traitement en zones rurales, l'utilisation des réactifs chimiques pour provoquer la floculation et ainsi rehausser la sédimentation, est difficile et donc pas du tout fiable.

## 4.2 Pré-Filtration sur Gravier

La qualité des eaux de surface peut être améliorée de manière significative quand elle est filtrée à travers du gravier et des couches de sable. C'est ainsi que, des conditions hydrogéologiques favorables permettent de tirer à partir des eaux polluées et turbides des rivières, de l'eau souterraine claire et saine provenant d'un puits peu profond situé près de la rivière. Toutefois, les sols aux alentours d'une prise, sont souvent imperméables par manque de gravier et de couches de sable. Néanmoins, pourquoi devrions-nous ignorer l'excellente capacité de purification de la nature, même si les conditions hydrogéologiques sont défavorables sur le site d'un nouveau système d'alimentation en eau? Copions donc la nature et construisons un aquifère artificiel en remplissant un bassin de décantation avec du gravier. Comme illustré en Fig. 8, l'efficacité dans l'élimination des solides d'un tel réservoir accroîtra de manière radicale à cause de la hauteur de chute très réduite dans le gravier. En d'autres termes, les fines matières solides qui traversent un bassin de décantation ordinaire doivent surmonter une hauteur de décantation de 1 à 3 m avant d'arriver au fond du bassin. Les mêmes particules soli-

des en traversant un filtre toucheront heureusement la surface du gravier déjà après quelques millimètres. Ainsi, **la filtration devient un procédé plus efficace pour l'élimination des solides puisque la distance de chute est radicalement réduite par le matériau du filtre**. La présence d'un système de petits pores et de larges superficies internes de filtre, rehausent ses capacités de sédimentation et d'adsorption ainsi que les activités chimiques et biologiques.

**La conception et l'utilisation des préfiltres varient considérablement.** Les différents types de filtres sont classés selon leur emplacement dans le plan de traitement de l'eau, leur principale application et la direction de l'écoulement. Les filtres à la prise et les filtres dynamiques, qui font souvent partie intégrante de la prise d'eau, diffèrent des préfiltres à graviers, qui sont généralement situés à la station de traitement même de l'eau. Comme illustré dans la Fig. 9, les préfiltres à gravier sont encore subdivisés en filtres à flux descendant, ascendant et horizontal. Enfin, les filtres à flux vertical peuvent être classés selon la disposition des couches de gravier. Dans les préfiltres en «séries» les différentes fractions de gravier sont disposées dans des com-

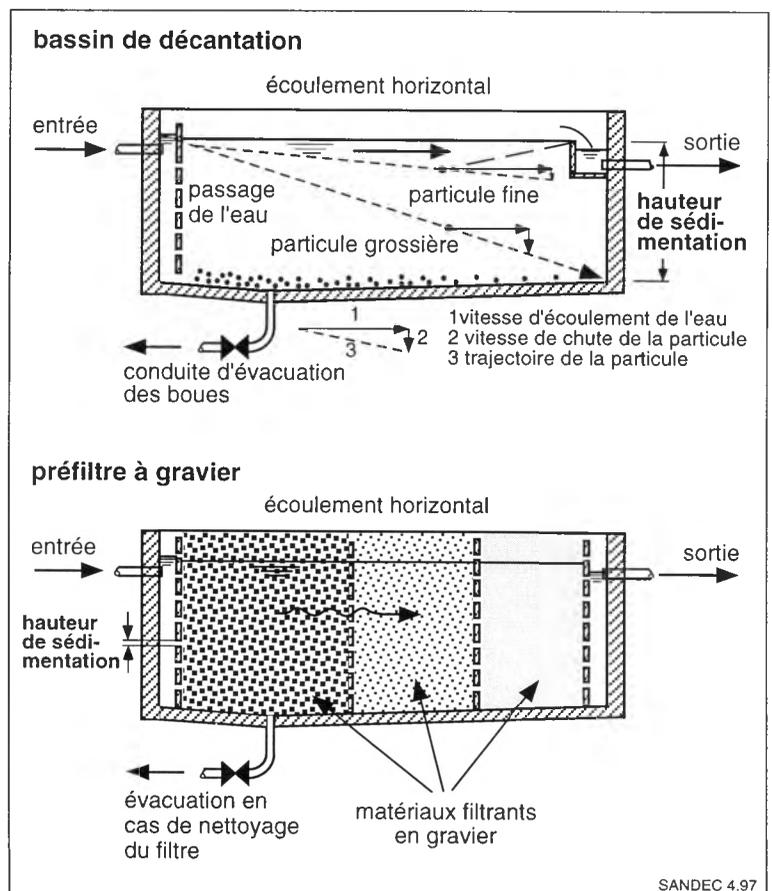


Fig. 8 Elimination des particules dans des bassins de décantation et des préfiltres à gravier

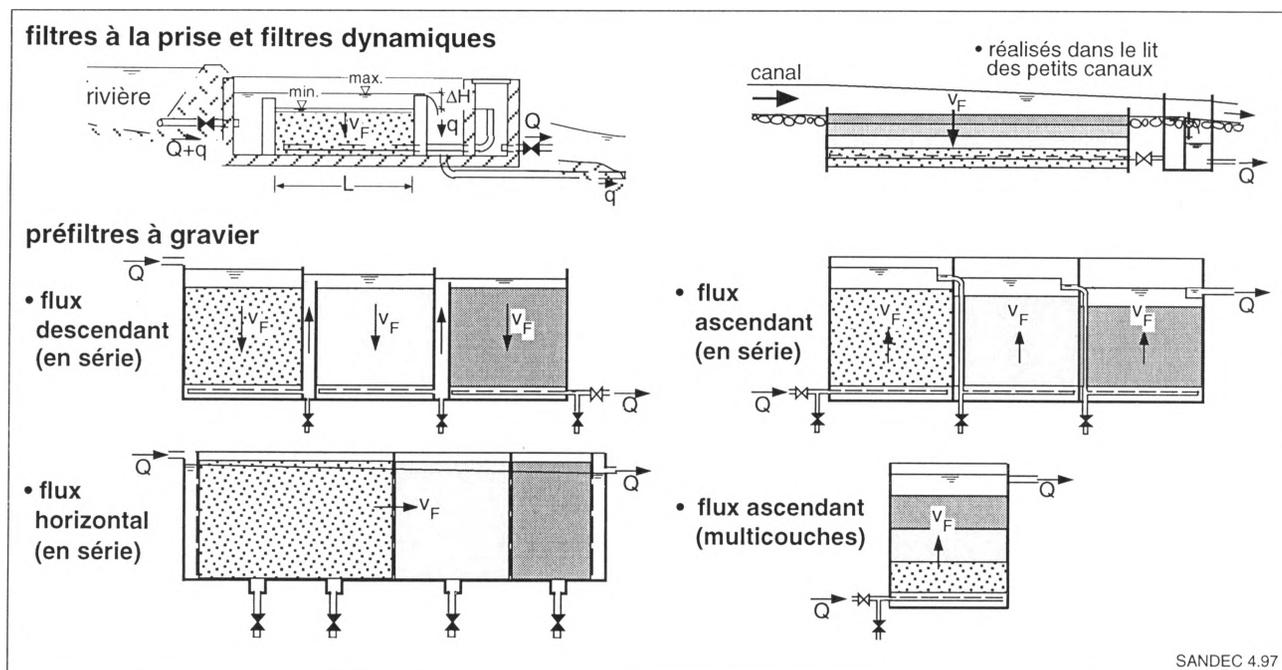


Fig. 9 Classification des préfiltres

partiments séparés tandis que celles des préfiltres «multicouches» sont placés l'une au-dessus de l'autre dans un même compartiment.

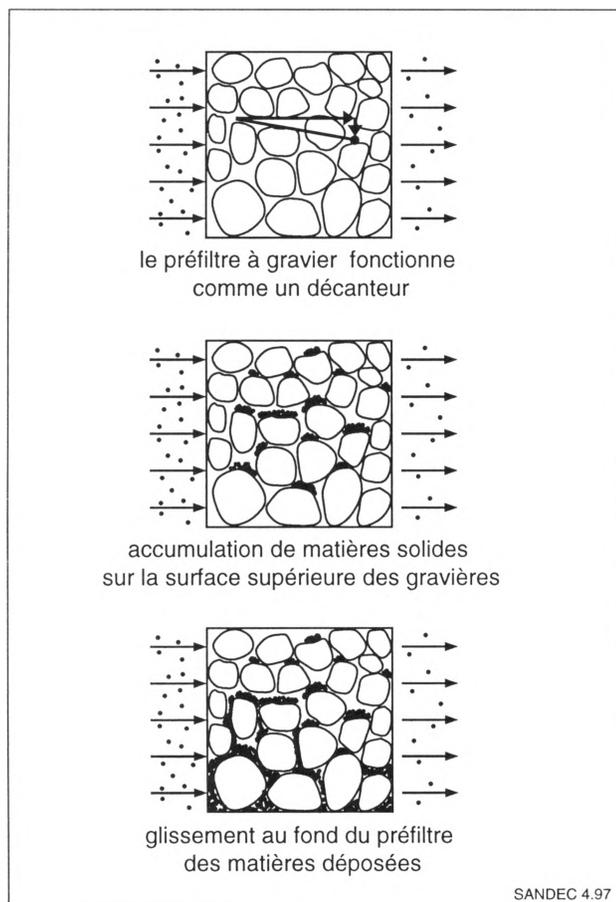


Fig. 10 Retrait de solides d'un filtre dégrossissant à flux horizontal

**Les préfiltres à gravier comprennent d'habitude des matériaux filtrants de taille variée** dont les dimensions décroissent successivement dans la direction de l'écoulement. La masse de solides est séparée par le matériau filtrant grossier situé près de l'entrée du filtre. Les matériaux filtrants moyens et fins qui suivent, réduisent davantage les concentrations en matières de solides en suspensions. Le matériau filtrant d'un préfiltre se compose de matériaux relativement grossiers dont la taille varie entre 25 et 4 mm. **Le gravier est généralement utilisé comme un matériau filtrant.** Des rendements significatifs dans l'élimination des matières solides ne se réalise que dans des conditions d'écoulement laminaire, étant donné que la sédimentation est le processus prédominant dans la pré-filtration. Par conséquent, **les préfiltres à gravier sont manipulés avec de petites charges hydrauliques**, définies comme le débit  $Q$ , divisé par la surface  $A$  du filtre perpendiculaire à la direction d'écoulement. La vitesse de filtration, synonyme de la charge hydraulique, varie généralement entre 0,3 à 1,5 m/h. Les gros matériaux filtrants et la petite charge hydraulique limitent la résistance du filtre à quelques centimètres.

**Le lavage du filtre se fait manuellement ou par moyen hydraulique**, selon la distribution des solides accumulés dans le filtre. Les filtres à la prise et les filtres dynamiques séparent les solides principalement à la zone d'entrée du filtre et agissent en conséquence

comme des filtres de surface. Ces filtres sont par conséquent lavés manuellement en frottant la face supérieure du lit filtrant à l'aide d'une pelle ou d'un râteau. En comparaison à ces filtres les préfiltres à gravier agissent comme des filtres à espace à cause de la profonde pénétration des solides dans le milieu filtrant. La matière solide accumulée est périodiquement nettoyée à grande eau par un lavage hydraulique. Si cela est nécessaire, ces filtres peuvent être lavés manuellement après extraction des matériaux hors du compartiment du filtre pour les laver et remplir à nouveau les boîtes du filtre.

**La décantation est le principal processus de la pré-filtration.** Elle est responsable de la séparation des solides de l'eau telle qu'on l'observe dans les tests de laboratoire conduits avec des préfiltres [10, 11, 12, 13, 14]. **Le filtre agit comme un bassin de décantation à plaques multiples,** étant donné qu'il offre une surface importante pour accumuler les matières décantées. Comme indiqué dans la Fig. 10 et illustré dans la photo 3, les dépôts sont retenus au-dessus des collecteurs où ils s'accroissent en agrégats en forme de dôme au fur

et à mesure que le temps de filtration avance. Une partie des petits tas décollés coule au fond du filtre lorsque les particules accumulées deviennent instables. Dans les préfiltres à flux horizontal, ce mouvement régénère l'efficacité de filtration des couches supérieures de gravier et permet l'accumulation d'une quantité considérable de matières retenues au fond du filtre. Selon les caractéristiques organiques de l'eau brute, d'autres procédés tels que l'oxydation biologique ou l'adsorption de matières solides à la surface gluante du filtre peuvent se produire. Dans ces conditions, l'agrégation rehaussée et la consolidation des dépôts ont été rapportées [12]. Cela pose des difficultés inhérentes pendant le lavage hydraulique et la régénération du filtre.

**La régénération du filtre peut être améliorée par le système de drainage du filtre.** Les particules accumulées et décollées tombent et sont entraînées au fond du filtre, si le niveau d'eau dans le filtre est baissé. Une partie des solides accumulés peut être évacuée à grande eau si la vitesse de drainage du filtre est élevée et si les installations sont adéquates.



Photo 3 Accumulation de kaolin dans un préfiltre à gravier à flux horizontal après 24 h, 100 h et 300h d'exploitation du filtre

## 5. Amélioration de la Qualité Bactériologique de l'Eau

**L'eau contenue dans notre seau est maintenant claire mais elle demeure encore impropre à la consommation.** L'eau turbide de rivière a changé d'apparence, grâce à la séparation de la matière solide par les procédés de prétraitement discutés dans le chapitre précédent. L'eau a perdu sa teinte brunâtre pour devenir un liquide clair et agréable à regarder. Cependant, elle n'est toujours pas aussi bonne et sûre qu'elle le paraît. Comme indiqué schématiquement dans la Fig. 11, les micro-organismes pathogènes, sources de maladies, sont invisibles à l'oeil nu. Le consommateur pourrait cependant avoir une sévère attaque diarrhéique quelques heures après avoir bu cette eau. Aussi, **l'eau pré-traitée a-t-elle toujours besoin davantage de traitement**, pour éliminer ou rendre inactifs les pathogènes. **La filtration lente sur sable et la chloration** sont les deux procédés de traitement les plus couramment appliqués pour **améliorer la qualité bactériologique de l'eau**.

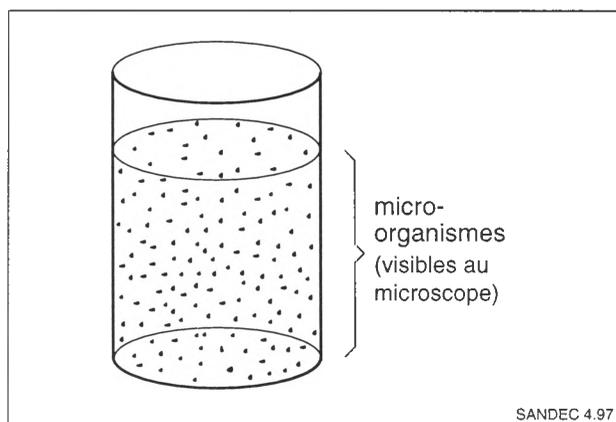


Fig. 11 Micro-organismes à éliminer

### 5.1 Filtration lente sur sable

**La filtration lente sur sable joue un rôle clé dans le traitement de l'eau en milieu rural.** La conception et l'application de ce procédé de traitement sont très bien décrites dans la bibliographie disponible [15, 16, 17]. Puisque les filtres lents sur sable réduisent le nombre de micro-organismes présents dans l'eau, ils améliorent sa qualité bactériologique. De plus, les matières organiques et inorganiques fines sont éliminées et les composés organiques dissouts dans l'eau sont oxydés.

Ainsi, l'effluent d'un filtre lent à sable bien conçu et bien exploité est pratiquement libéré des micro-organismes pathogènes, et cette eau est donc propre à la consommation. De plus, une évaluation comparative [18] de l'efficacité des filtres lents à sable et des filtres rapides à sable révèle que les premiers sont plus efficaces dans l'élimination de plusieurs pesticides courants. Par contre, on les a trouvés moins performants que les filtres rapides à sable accompagnés de coagulation, dans l'élimination du carbone organique et de la couleur organique dissouts. Cependant, la filtration lente sur sable demeure l'un des procédés les plus efficaces de production d'eau potable.

#### **La technologie du filtre lent à sable imite la nature.**

Les couches de sable dans les aquifères transforment l'eau de surface impropre en eau de bonne qualité. En particulier les bactéries nuisibles, les virus, les protozoaires, les oeufs et les vers, sont éliminés très efficacement par des procédés physiques et biochimiques, à un niveau qui ne met plus la santé humaine en danger. Ces procédés de purification naturelle sont aussi utilisés par les filtres lents à sable - **une technologie qui a été introduite le siècle dernier**. En ce temps, l'Europe était frappée par une épidémie de choléra, qui a obligé les agences d'eau à prendre une action rapide. Les avantages de la filtration lente à sable ont donc été découverts. Cette technique de traitement de l'eau s'est avérée efficace contre les maladies d'origine hydrique et, en combinaison avec d'autres améliorations de la santé publique, ces épidémies ont été éradiquées de l'Europe. **De nombreuses agences d'eau dans les pays industrialisés utilisent toujours les filtres lents à sables.** L'agence d'eau, Thames Water Supplies, par exemple, fournit deux tiers de la population de Londres en eau de surface traitée au filtre lent à sable, eau tirée de la Tamise qui draine un pourcentage très élevé (en année sèche) d'eau usée, issue des égouts des quartiers en amont. Cela est un hommage à l'efficacité et à la fiabilité de la technologie du filtre lent à sable.

#### **La conception d'un filtre lent à sable est simple.**

Comme indiqué dans la Fig. 12, il s'agit d'un bassin à ciel ouvert rempli d'une couche de sable d'environ 0,8 à 1,0 mètre de profondeur. La partie supérieure du bassin du filtre est remplie d'eau avec un écoulement gravitaire à travers le lit de sable. L'eau filtrée est alors collectée par un système de drain au fond et conduite dans un réservoir d'eau claire. Le sable bien calibré du lit du filtre est relativement fin, c'est dire que son diamètre effectif varie entre 0,15 et 0,30 mm, mais des expériences récentes sur le terrain a révélé que du sable un peu plus gros peut être utilisé [4].

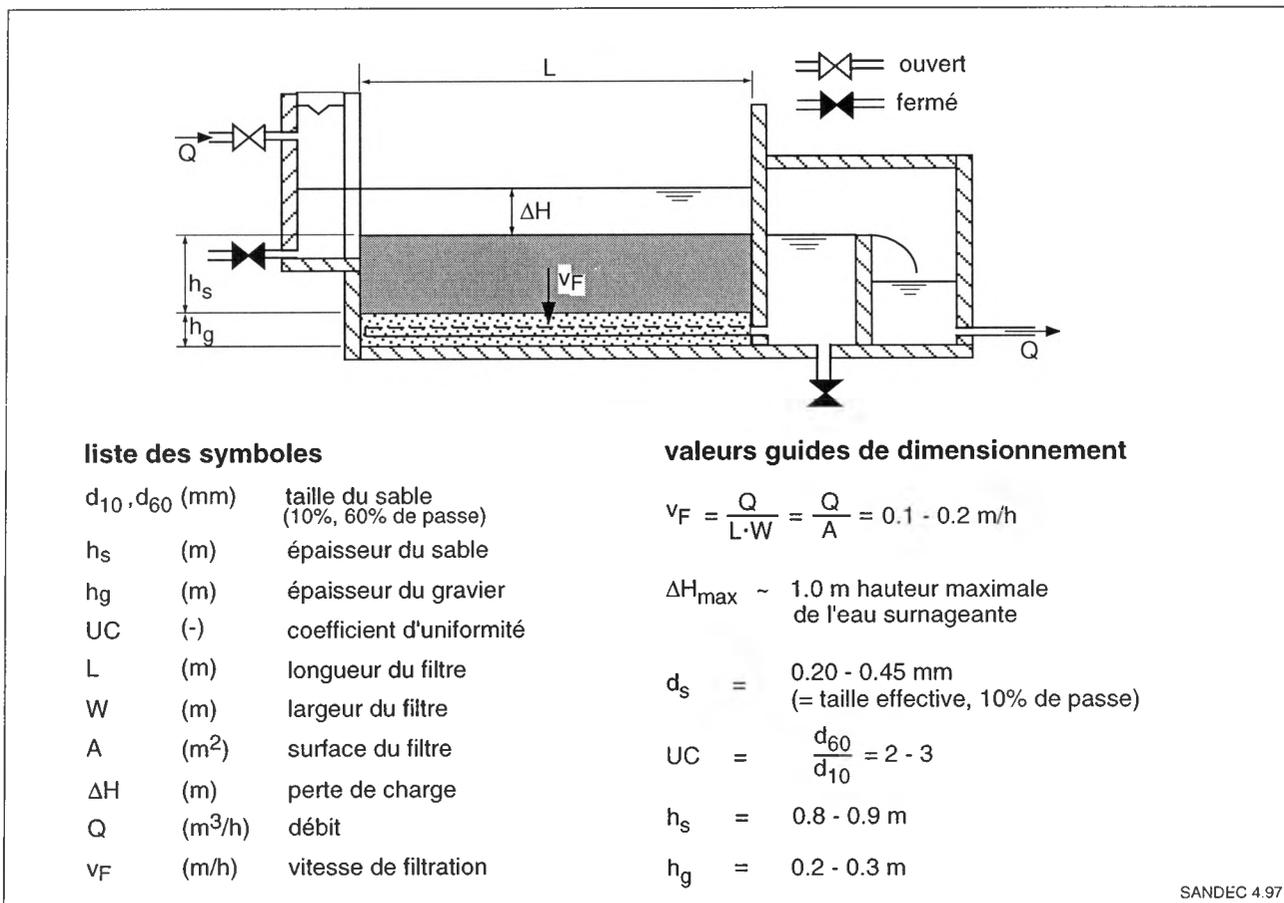


Fig. 12 Plan et conception d'un filtre lent à sable

**L'exploitation du filtre lent à sable est facile et fiable.** Les filtres lents à sable sont généralement exploités à des vitesses de filtration de 0,1 à 0,2 m/h. Par conséquent, une surface de 1 m<sup>2</sup> de sable produit environ 2,5 à 5 m<sup>3</sup> d'eau par jour. Le débit est contrôlé de préférence à l'entrée du filtre, et un niveau minimal d'eau au-dessus du lit est maintenu à l'aide d'un déversoir ou une conduite d'évacuation situé à la sortie du filtre. Un traitement biologique efficace ne peut se réaliser que si un débit raisonnablement stable est maintenu. Par conséquent, une exploitation sur 24 heures est recommandé pour pouvoir utiliser au maximum les installations du filtre disponibles. La perte de charge d'un filtre à sable propre varie entre 0,20 à 0,30 m. La perte de charge augmente progressivement avec la durée de filtration. Le filtre à sable doit être nettoyé lorsque la perte de charge du filtre atteint environ 1 m.

**Les filtres lents à sables agissent principalement comme des filtres superficiels.** Les changements de qualité ont lieu pour la plupart, à la surface du lit de sable dans ce qu'on appelle le «Schmutzdecke» et, dans une moindre mesure, dans les premiers 20 à 30 cm du lit de sable. Une couche légère à la surface du lit de sable, formée de matières organiques et inor-

ganiques, et une grande variété de micro-organismes actifs, est responsable de l'amélioration physique, chimique et biologique de l'eau. Cette couche biologique mince prend du temps à se développer sur un nouveau filtre lent à sable. La période de maturation initiale dure normalement deux à quatre semaines. Les filtres nettoyés retrouveront leur pleine activité biologique au bout de deux à quatre jours, pourvu que la période d'arrêt pour le nettoyage soit courte, soit pas plus de 6 à 12 heures.

**Le nettoyage du filtre** devra se faire une fois que le niveau d'eau surnageante a atteint le maximum admissible, soit lorsqu'une perte de charge maximale d'environ 1 m est atteinte pour la vitesse filtration nominale. Le nettoyage du filtre commence avec l'évacuation de l'eau surnageante et la vidange de l'eau de la partie supérieure du lit. Par la suite, le film biologique et 1 à 2 cm d'épaisseur de sable sont raclés du lit de sable tel qu'indiqué sur la photo 4. Une fois que la couche supérieure de sable raclée, il est possible de procéder à la remise de sable. Après cela, la filtration est immédiatement reprise pour éviter d'interrompre l'activité biologique du filtre plus que nécessaire. Le lit du filtre est rempli à nouveau d'eau introduite par le système de



Photo 4 Nettoyage d'un filtre lent à sable

drainage en contre courant. Cette méthode de remplissage chasse l'air hors des pores du sable et sature complètement le lit du filtre. Le fonctionnement normal est repris en ouvrant la vanne d'entrée et en ajustant la vitesse de filtration.

**Dans les filtres lents à sable bien exploités, la durée de vie devraient atteindre de 1 à 3 mois**, correspondant au temps entre deux nettoyages successifs du filtre. Pour parvenir à ces résultats, l'eau d'alimentation doit être relativement claire. Un fonctionnement raisonnable du filtre ne peut se faire qu'avec une turbidité d'eau à l'entrée en dessous de 20 à 30 NTU. Une turbidité plus élevée, avec en conséquence des concentrations plus élevées en particules solides, va rapidement colmater la surface du sable et entraver le processus biologique. D'où, la recommandation ferme que l'eau de surface soit pré-traitée avant la filtration lente à sable.

**Des erreurs de conception causent des problèmes d'exploitation des filtres lents à sable.**

Par le passé, plusieurs stations de traitement aux filtres lents à sable des pays en développement ont rencontré des problèmes de fonctionnement, ou ont dû fermer. Des erreurs de conception graves, une exploitation inappropriée et la mauvaise qualité de l'eau fournie aux filtres sont les principales raisons des problèmes et échecs rencontrés. Comme illustré dans la Fig. 13, les erreurs de conception courantes rencontrées sont: le manque d'équipement de con-

trôle des débits, les installations inappropriées de conduites, du sable souillé et mal calibré ne répondant pas au diamètre recommandé, ou le manque de système de contrôle du niveau d'eau. L'exploitation du filtre sans méthode, à des vitesses de filtration variables et souvent trop élevées, par des exploitants mal formés, sont généralement les causes de l'inefficacité des filtres.

**L'eau brute de mauvaise qualité, insuffisamment pré-traitée, contribue aussi à une mauvaise performance des filtres lents à sable.** Fréquemment, les filtres lents à sable sont directement alimentés en eau brute ou sont couplés avec des procédés de prétraitement inefficaces et inappro-

priés. De sérieux problèmes de fonctionnement surviennent lorsque la floculation chimique et la décantation sont utilisées comme prétraitement. L'exploitant de la station n'est peut être pas capable de contrôler la floculation car c'est un procédé de prétraitement instable et difficile à exploiter. Des floccs légers sont souvent emportés dans les filtres lents à sables, ou le manque de réactifs chimiques réduit considérablement le rendement du bassin de décantation. Le colmatage prématuré et rapide du filtre et le nettoyage fréquent du filtre sont les conséquences qui en résultent. Par conséquent, le prétraitement efficace de l'eau de surface, avec les préfiltres à graviers par exemple, est nécessaire pour éviter de graves difficultés d'exploitation avec les filtres lents à sable. Des petites unités de filtres lents à sable recevant de l'eau brute d'une turbidité modérée peuvent être protégées par des couches de tissus synthétique de filtre non tissé [19, 20] ou par une couche de gravier [21] placée au-dessus du lit de sable.

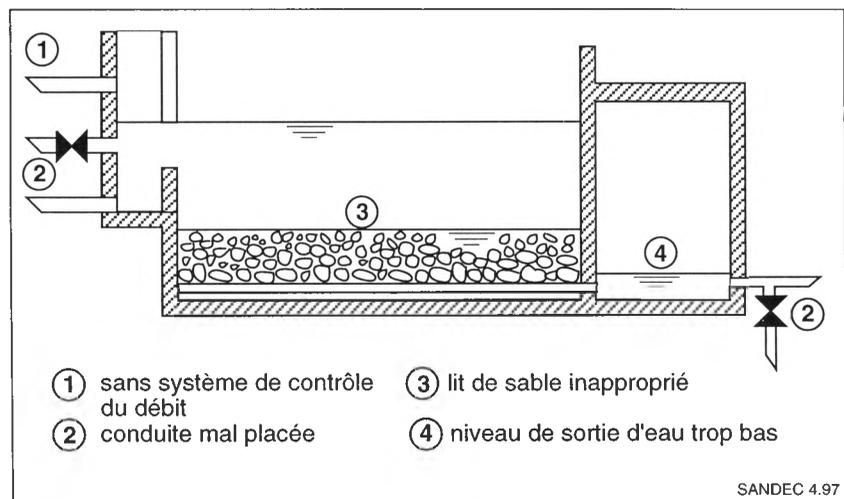


Fig. 13 Erreurs courantes de conception des filtres lents à sable

En résumé, la filtration lente à sable peut ainsi être perçue comme un procédé de traitement sain, stable, simple et fiable. La construction des filtres fait appel d'une manière intense aux matériaux et compétences locaux. L'exploitation des filtres ne nécessite ni des organes mécaniques sophistiqués, ni l'utilisation de réactifs chimiques. La construction, l'exploitation et la maintenance des filtres sont faciles et ne nécessitent que des compétences limitées. Ce-

pendant l'exploitation adéquate du filtre n'est possible qu'avec une eau brute de faible turbidité, c'est-à-dire pratiquement libre de toute matière solide. Le prétraitement de l'eau de surface est par conséquent nécessaire. En combinaison avec les méthodes adéquates de prétraitement, la filtration lente à sable est considérée comme la technologie de traitement de l'eau la plus adaptée pour les pays en développement.

### *Un filtre lent à sable défectueux, proche du cimetière*



*La photographie s'explique. De la pente d'une profonde vallée dans les montagnes des Andes, nous pouvons voir deux unités de filtre lent à sable remplies d'eau de couleur chocolat, un gros tas de sable entreposé sur le sol, près des installations et, légèrement plus bas, le cimetière du village dont la population est alimentée par l'eau de ces filtres défectueux. La brume monte de la vallée et va bientôt engloutir cette vision morne...*

*En 1985, DelAgua évalua les 18 stations de traitement de deux départements des Andes. Deux des stations avaient des filtres rapides à sable non fonctionnels. L'étude a aussi révélé que le filtre lent à sable et les unités de désinfection avaient des déficiences majeures et des problèmes d'exploitation. Des problèmes techniques et institutionnels étaient à l'origine de ces défauts. Les principaux problèmes techniques étaient liés au contrôle du débit et à la qualité de l'eau brute. L'absence de contrôle du débit à la prise d'eau brute ont causé une exploitation instable et intermittente du filtre. L'eau brute hautement turbide et contaminée n'a pas été bien pré-traitée. Ce qui a conduit à des pro-*

*blèmes d'exploitation. Par conséquent, l'efficacité du filtre a été considérablement réduite et, selon l'étude, plus de la moitié des stations avaient de mauvais rendements tant pour la réduction de la turbidité que de la pollution bactérienne. En ce qui concerne les aspects institutionnels, les techniciens et les comités de gestion n'ont pas reçu de formation adéquate en exploitation et en maintenance des stations de traitement. Les utilisateurs n'ont pas reçu un appui de supervision professionnelle des autorités nationales responsables qui n'avaient aucune motivation de fournir une alimentation en eau fiable. Les problèmes décrits ont été résolus grâce à un programme de réhabilitation et de transfert de technologie de traitement d'eau en milieu rural. Des procédés de prétraitement efficaces et appropriés, tels que la préfiltration, ont été introduits et l'appui institutionnel, ainsi que la formation de la communauté ont été soutenus.*

*Pour assurer une exploitation fiable et durable de l'installation de traitement, des procédés de traitement appropriés sont nécessaires, ainsi que des compétences locales en techniques et gestion bien développées.*

## 5.2 Chloration

La chloration vise la destruction ou au moins, l'inactivation des micro-organismes nuisibles, tels que les bactéries pathogènes, les virus et les kystes présents dans l'eau. **Le chlore est un puissant oxydant** qui, non seulement, réagit avec les enzymes vitaux aux procédés métaboliques des cellules vivantes, mais est aussi responsable d'autres réactions chimiques. La matière organique dissoute, par exemple, réduit par une réaction chimique rapide le chlore. Le chlore réagit aussi avec l'azote pour former des chloramines assez stables. Ces chloramines sont souvent générés exprès par addition d'ammoniaque à l'eau, dans le but d'avoir du chlore résiduel faisant face à toute pollution ultérieure dans le système de distribution.

**Les raisons pour lesquelles la chloration** est l'une des techniques de désinfection les plus largement utilisées en traitement de l'eau sont les suivantes:

- Le chlore est un puissant désinfectant lorsqu'il est appliqué à de l'eau faiblement turbide, avec une faible teneur en matières organiques dissoutes.
- La teneur résiduelle en chlore est extrêmement simple à déterminer par des colorimètres; ce qui n'est pas le cas avec d'autres procédés de désinfection, tels que l'ozone ou les rayons ultra-violet.
- Etant donné que les installations de chloration sont relativement petites, elles ne nécessitent pas d'importantes infrastructures et leurs coûts d'investissement sont relativement faibles.
- Le chlore est souvent appliqué comme une protection (spécialement sous la forme de chloramines stables) contre la pollution secondaire de l'eau. Bien que de petites quantités de chlore puissent traiter les contaminations mineures résultant de la manipulation incorrecte de l'eau au niveau des foyers, elles ne peuvent jamais combattre l'eau fortement contaminée par les branchements croisés ou l'infiltration des eaux usées dans les réseaux de distribution d'eau exploités par intermittence.

**Il existe de nombreux inconvénients de la chloration** pouvant même remettre en cause l'application de ce procédé de traitement en milieu rural. Les problèmes sont:

- La chloration nécessite un système de traitement d'eau fiable. Elle ne s'applique ni à l'eau turbide, ni à l'eau ayant une haute teneur en matières organiques.

- Avec de l'eau pré-traitée d'une manière inadéquate, le chlore forme des sous-produits (par exemple, les trihalométhanes) considérés comme cancérigènes.
- Le chlore est d'habitude un produit chimique instable et corrosif, qui perd sa puissance de désinfection dans le temps et attaque les installations métalliques dans la salle de dosage de réactifs.
- Les équipements de dosage et les réactifs chimiques doivent souvent être importés, conduisant à la recherche de devises étrangères et des coûts d'exploitation et de maintenance élevés.
- Les consommateurs refusent souvent de boire de l'eau chlorée à cause de son goût et de son odeur.

**Le dosage exact du chlore est essentiel** pour réussir une désinfection efficace. Seule la désinfection partielle est réalisée avec des dosages de chlore plus faible que le besoin de chlore dans l'eau. L'eau contenant une concentration trop élevée de chlore pourrait être refusée par les consommateurs, car l'eau chlorée a une odeur distincte. Une forte odeur se dégage lorsque le chlore réagit à l'ammoniaque pour former des chloramines. **Les consommateurs rejettent souvent l'eau chlorée** même lorsque le chlore est soigneusement manipulé et dosé à de faibles concentrations.

**Le chlore est disponible sous la forme gazeuse, solide, et liquide.** Le chlore gazeux est extrêmement toxique, difficile à manipuler et, par conséquent, habituellement inapproprié pour la désinfection en milieu rural. La chaux chlorée, communément appelée «poudre javellisante», la poudre d'hypochlorite de calcium, ou la solution d'hypochlorite de sodium, aussi appelée «eau de javel», sont utilisées comme des dérivés du chlore. **Etant donné que le chlore est ajouté de préférence sous forme de solution à l'eau,** la chaux chlorée et l'hypochlorite de calcium devraient être dissouts dans l'eau à une solution normalisée contenant environ 1 à 3 pour-cent de chlore actif. Les solutions de chlore nécessitent une préparation soignée, c'est-à-dire qu'il est extrêmement dangereux de déverser de l'eau sur de l'hypochlorite sec. La Fig. 14 résume les différentes applications du chlore. Il faut noter qu'une désinfection adéquate est obtenue non seulement avec une dose suffisante de chlore  $C$  (mg/l), mais nécessite un temps de contact approprié  $T$  (min), puisque l'inactivation des micro-organismes dépend du produit  $C \times T$ .

Une solution de chlore à un débit constant est ajoutée à l'eau à l'aide d'appareils de dosage. **Les doses de chlore relativement faibles nécessitent un équipe-**

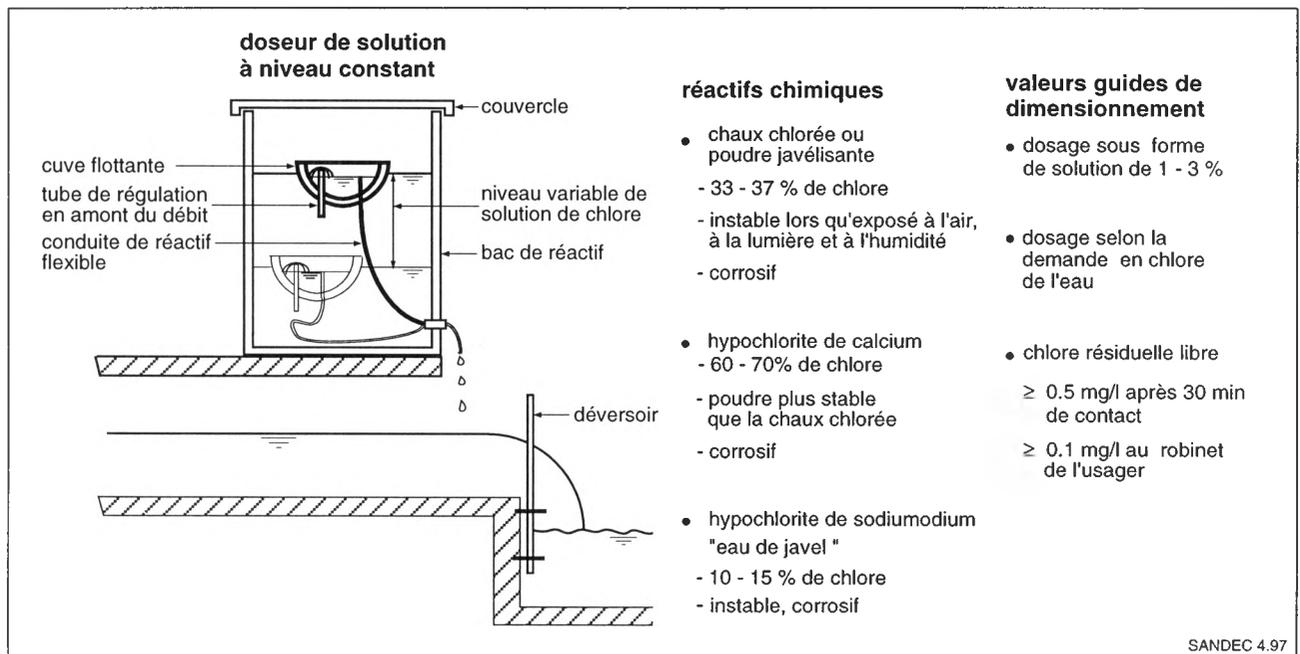


Fig. 14 Application du chlore

**ment de dosage exact.** Ces instruments sont pourtant exposés à l'action corrosive du chlore et sont souvent endommagés. La dose doit être ajustée à la demande en chlore de l'eau à désinfecter. Dans la pratique, l'ajustement d'un dosage limité du chlore est possible, c'est-à-dire au jour le jour. Un traitement fiable de l'eau avant la chloration est en conséquence nécessaire. **La désinfection adéquate de l'eau n'est généralement faisable qu'avec de l'eau pratiquement libre de matières solides et organiques.**

**L'approvisionnement régulier en chlore est souvent difficile à obtenir dans les pays en développement.**

Le chlore doit être acheté régulièrement compte tenu de sa nature instable qui ne permet pas de le stocker longtemps. Le chlore doit être généralement importé et, par conséquent, cela crée un besoin de devises étrangères; ce qui est souvent une denrée rare dans les pays en développement. De plus, ces pays rencontrent d'autres difficultés, tels que les problèmes de communication et de transport. Enfin, le traitement de l'eau avec des produits chimiques nécessite un personnel qualifié souvent inexistant en zones rurales. **Tous ces aspects constituent une pierre d'achoppement à une application sûre et efficace du chlore** et, plus généralement, à l'utilisation de réactifs chimiques dans les systèmes d'alimentation en eau en milieu rural, dans les pays en développement. Cette observation est **soutenue par plusieurs cas de mauvaise exploitation ou d'abandon de station de traitement chimique de l'eau.**

Etant donné que les méthodes conventionnelles de désinfection ne réussissent généralement pas dans des petits programmes d'alimentation en eau des zones rurales, des méthodes de désinfection simples, robustes et facilement entretenues et à faible coût, deviennent nécessaires.

**De nouvelles techniques de désinfection de l'eau** ont déjà été développées et testées sur le terrain [22]. L'utilisation de cartouches de résines imprégnées de l'iode, à la place du chlore, n'est qu'une des alternatives possibles. En plaçant cette cartouche dans l'eau, les micro-organismes sont rendus non viables par réaction d'oxydation avec l'iode. En comparaison avec le chlore, l'iode est moins réactif avec les composés organiques dans l'eau. Cependant, avant de passer à une utilisation à plus grande échelle, une mise au point de cette méthode demeure nécessaire surtout en ce qui concerne la fixation de l'iode sur un matériel de support adéquat. De plus, l'iode nécessite un dosage soigneusement contrôlé - car à des concentrations élevées, l'iode constitue un danger pour la santé, particulièrement chez les femmes enceintes.

Une seconde alternative pour la désinfection de l'eau **est la cellule électrolytique qui engendre un gaz oxydant** lorsqu'un courant électrique est passé à travers une solution saturée de chlorure de sodium. La méthode Moggod («gaz mixte oxydant généré sur demande») nécessite du sel, de l'eau et un courant électrique pour produire un puissant gaz oxydant. Cepen-

dant, cette méthode est sensible à l'utilisation du sel ordinaire contaminés puisque de sérieux problèmes se posent lorsqu'il y a association avec des dépôts de calcium et de magnésium sur la membrane. De plus amples investigations sur la nature du gaz produit et sur les aspects d'exploitation relatifs à l'utilisation du sel de mauvaise qualité sont nécessaires avant que cette méthode de désinfection puisse être recommandée pour une utilisation plus large.

Les méthodes décrites suggèrent différents procédés pour remplacer le chlore comme oxydant ou pour produire du chlore sur site, plutôt que des alternatives véritables de désinfection. D'autres procédés (par exemple la méthode MIOX) sont en développement et testés sur le terrain. Une description détaillée de la chlora-

tion et des méthodes alternatives de désinfection n'est pas du domaine de ce manuel, bien qu'une référence soit faite à la documentation appropriée [23, 24, 25].

**Pour conclure, on peut dire qu'une désinfection sûre et efficace avec du chlore nécessite que l'eau soit pré-traitée, pratiquement libre de matières solides et organiques. En milieu rural, l'utilisation du chlore dans des systèmes d'alimentation en eau crée souvent d'énormes problèmes et est fréquemment contraint d'échouer, comme en témoigne plusieurs stations de traitement. De plus, la population rurale refuse souvent l'eau chlorée. Des investigations techniques, institutionnelles et socio-culturelles minutieuses sont nécessaires avant l'introduction de la chloration dans le traitement de l'eau en zone rurale.**

## ***Eau chlorée «non destinée à la boisson»***



*On peut presque sentir la peinture sur la fontaine publique récemment construite. Son modèle diffère de celui de plusieurs milliers utilisés à travers le monde. La fontaine locale utilise des siphons à eau avec des tubes flexibles. Une vanne flottante maintient l'eau à un niveau constant dans le cylindre en acier fermé. Cela protège contre les fuites ou les pannes de robinets dues à la fréquente utilisation publique. Cependant, l'intérêt de notre groupe, composé de représentants de l'Ingénieur-Conseil étranger et du fournisseur, et dirigé par un directeur de service d'une société nationale de l'eau et le directeur local du système d'alimentation en eau, ne se limitait pas seulement à la conception de cette fontaine spéciale mais à tout le système d'alimentation en eau. Le système visité était le premier d'un groupe de quatre dont l'exploitation venait de commencer. La construction de douze réseaux supplémentaires était en discussion. Tous les réseaux d'alimentation en eau étaient identiques dans leur conception; c'est-à-dire une prise d'eau de surface, un traitement de l'eau consistant en une pré-chloration, un contrôle du pH, une aération, une coagulation à l'aide de sulfate*

*d'aluminium, une floculation, des décanteurs à plaques inclinées, de la filtration rapide à sable, et la désinfection totale, ainsi qu'une station de pompage d'eau claire alimentant le réservoir et le réseau de distribution. Un système à module pour le réseau de traitement permet une construction rapide et efficace. Cependant, nous avons des doutes à savoir si l'eau de rivière drainant des forêts denses et non peuplées nécessite un tel traitement extensif. L'eau de rivière brute était bien claire même lors de notre visite en saison pluvieuse. Néanmoins, l'eau était toujours traitée avec des réactifs chimiques.*

*Deux filles passant près de la fontaine ont été questionnées par le directeur de service de la société d'eau pour savoir si elles appréciaient le nouveau système d'alimentation en eau. Leur réponse était inattendue et déprimante puis-qu'elles ont déclaré que l'eau courante était utilisée pour bien d'autres fins que la boisson. A cause de son goût artificiel et étrange, l'eau distribuée n'était pas consommée, ni par elles, ni par leurs familles, ni par les villageois. C'est pourquoi elle continue de puiser l'eau de la rivière toute proche.*

## 6. Principe d'un système d'alimentation en eau

### 6.1 Généralités

D'un point de vue technique, on doit répondre à **trois principales questions** dans la phase de planification d'un système d'alimentation en eau:

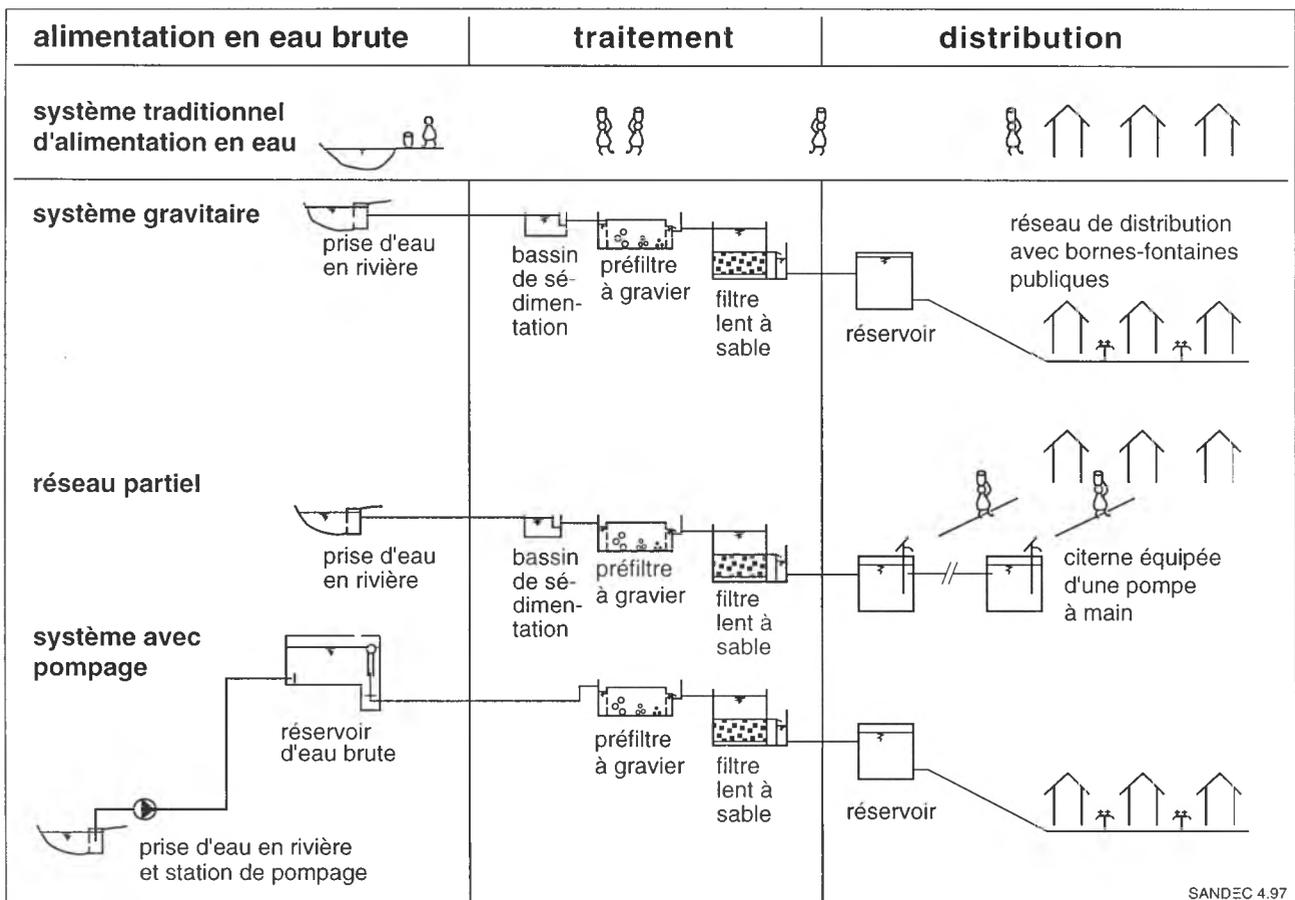
- **Quelle sera la source d'eau brute ?**
- **Si un traitement est nécessaire**, quel type d'installation de traitement faut-il favoriser ?
- **Quelle sera la quantité d'eau à distribuer** aux consommateurs et à quel niveau de service ?

**Le choix de la source** est une décision très fondamentale dont les conséquences sont nombreuses pour l'avenir du système d'alimentation en eau. Les différentes sources d'eau locales doivent être évaluées sur le plan de leur **qualité, quantité et accessibilité**. La source d'eau sélectionnée doit pouvoir répondre aux besoins futurs en eau, avec la meilleure qualité possible à la

source, et être située aussi près que possible du lieu desservi.

Dans la mise en place d'un système d'alimentation en eau, l'étape la plus difficile reste le traitement même de l'eau, et compte tenu des difficultés qui en découlent, le traitement est à éviter, autant que possible. La déclaration selon laquelle **l'absence de traitement est le meilleur traitement** s'applique spécialement aux réseaux d'alimentation en eau dans les zones rurales qui présentent généralement une insuffisance au niveau des infrastructures et du cadre institutionnel pour l'entretien adéquat des stations de traitement. L'utilisation de sources d'eau de meilleure qualité est par conséquent, une alternative sérieuse à toujours prendre en compte. Si aucune autre alternative n'est disponible, le traitement de l'eau en zone rurale devra procéder à l'amélioration de la qualité de l'eau, sur le plan bactériologique, par des procédés de traitement local durable.

**Les systèmes de distribution de l'eau** sont fonction de la source d'eau utilisée, de la topographie, et du niveau du service d'alimentation fourni. Les approvisionnements en eau individuels, par exemple la collecte d'eau de pluie, les puits peu profonds équipés de



SANDEC 4.97

Fig.15 Dispositifs types de stations de traitement en eau utilisant l'eau de surface

pompe manuelle ne nécessitent pas d'habitude de conduites de distribution. Par contre, l'eau de surface traitée est normalement distribuée par un système à conduites d'eau. Une topographie convenable permet souvent l'installation d'un **système gravitaire qui a l'avantage d'améliorer la fiabilité et la continuité de l'approvisionnement**. Etant donné que les systèmes d'alimentation en eau pompée dépendent de l'approvisionnement fiable en énergie et en pièces de rechange, elles sont susceptibles à des arrêts temporaires. Enfin, le niveau de service d'alimentation en eau est le facteur le plus important de la demande en eau. L'utilisation de l'eau augmente d'une manière radicale selon le niveau de service fourni, c'est-à-dire les fontaines publiques, des branchements dans les cours, les branchements multiples individuels. **L'approvisionnement en eau est toujours lié à l'assainissement**. La situation sanitaire de la communauté desservie en eau traitée ne s'améliore pas nécessairement, particulièrement si les problèmes de santé publique et d'évacuation des eaux usées ne sont pas résolus. Les principales composantes nécessaires pour améliorer de manière significative la situation sanitaire d'une communauté sont, par conséquent, une alimentation en eau fiable et sûre, un système adéquat d'évacuation des ordures et un vaste programme d'éducation en matière d'hygiène.

Comme schématisé dans la Fig. 15, l'eau de surface doit être collectée, traitée et stockée avant d'atteindre le consommateur. Différents dispositifs types sont utilisés pour réaliser ces activités. Les Fig. 15 et 16 illustrent seulement quelques exemples.

## 6.2 Profil hydraulique

Le choix du profil hydraulique est un critère fondamental dans la planification d'un système d'alimentation en eau. **Le premier choix doit être accordé aux systèmes d'alimentation par gravité, étant donné qu'ils garantissent une exploitation à des faibles coûts**. Le deuxième choix est accordé aux systèmes intégrant l'utilisation de pompes manuelles. La dernière option doit porter sur l'installation de pompes mécaniques et ne s'appliquera que dans des cas spéciaux où un approvisionnement fiable et peu coûteux en énergie est garanti, ainsi que l'infrastructure pour l'entretien des pompes. Des béliers hydrauliques utilisant l'énergie potentielle d'un grand volume d'eau pour pomper une petite fraction de ce volume à un niveau supérieur [26] pourraient être une option appropriée là où la gravité de l'eau de surface est disponible et l'eau abondante. Si les conditions locales sont favorables, la collecte et le prétraitement de l'eau brute peuvent être combinés en une installation unique, telle que des galeries d'infiltration.

**Les stations de traitement d'eau** devrait, chaque fois que possible, être exploitées par gravité et avec une nappe d'eau libre, pour minimiser la pression de l'eau sur les structures. Les pertes de charges totales à travers une station de traitement s'élèvera à 2 ou 3 m. En général, tout système de relevage d'eau, à l'exception des pompes manuelles, est à éviter en milieu rural, car l'approvisionnement en énergie et en pièces de rechange sophistiquées est généralement difficile. **Si le**

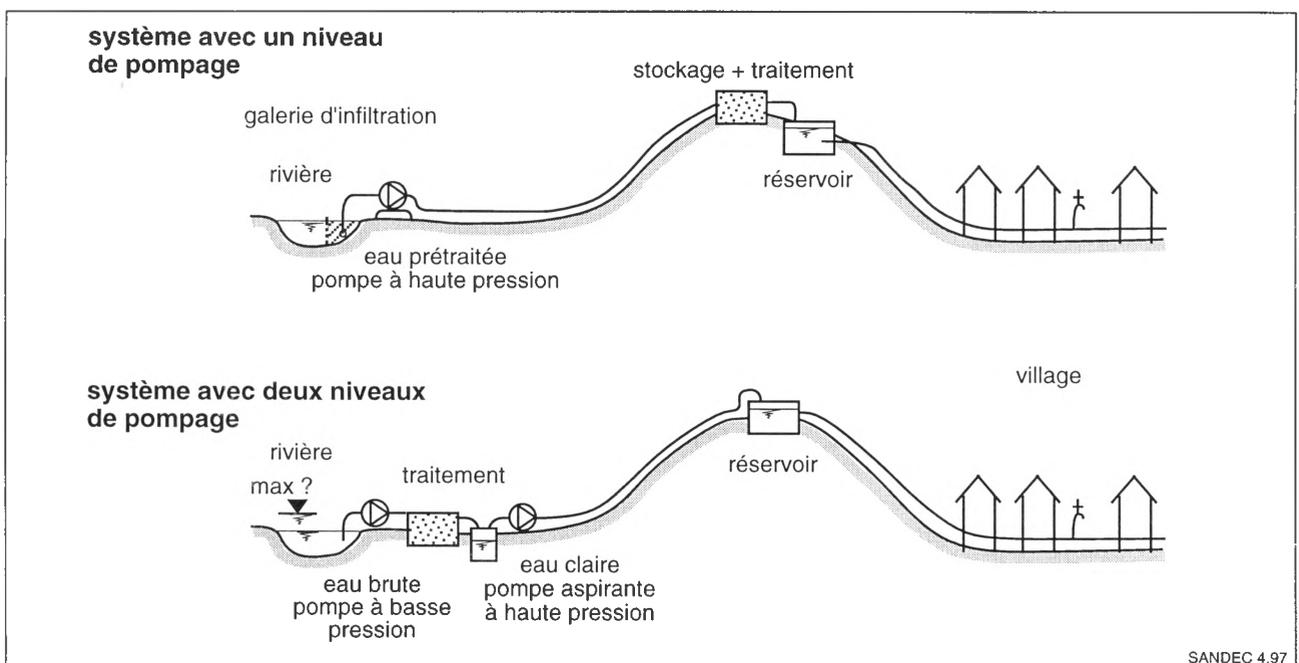


Fig. 16 Principe général d'un système d'alimentation en eau par pompage

relevage d'eau est absolument nécessaire pour des raisons topographiques, le nombre d'étapes de pompage doit être limité. Comme illustré dans la Fig. 16, pour pomper l'eau brute sur un site élevé où sont situés la station de traitement et les bassins, le choix réside dans un système de pompage à un niveau. Un tel système de pompage a de plus grands avantages qu'un système à deux niveaux, car il accroît sa fiabilité par 2 fois. De surcroît, le risque d'inondation des bas-fonds ne peut pas être exclu entièrement. Dans ces conditions protéger une station de pompes à aspiration contre l'inondation est plus facile qu'une station entière de

traitement. Cependant, un système de pompage à deux niveaux est inévitable lorsque le système de distribution approvisionne un terrain plat, sans aucune dénivellation naturelle et en cas de grandes fluctuations dans la qualité de l'eau brute, par exemple de lourdes charges en sédiments pendant la mousson. Dans une telle situation, il est recommandé d'installer une pompe à basse pression. Elle peut consister en une simple unité de pompage comme celles pour l'irrigation, de faible efficacité mais simple à réparer, qui aura pour objet de minimiser le refoulement à haute pression de l'eau traitée, et protéger les roues et les joints d'étanchéité de ces

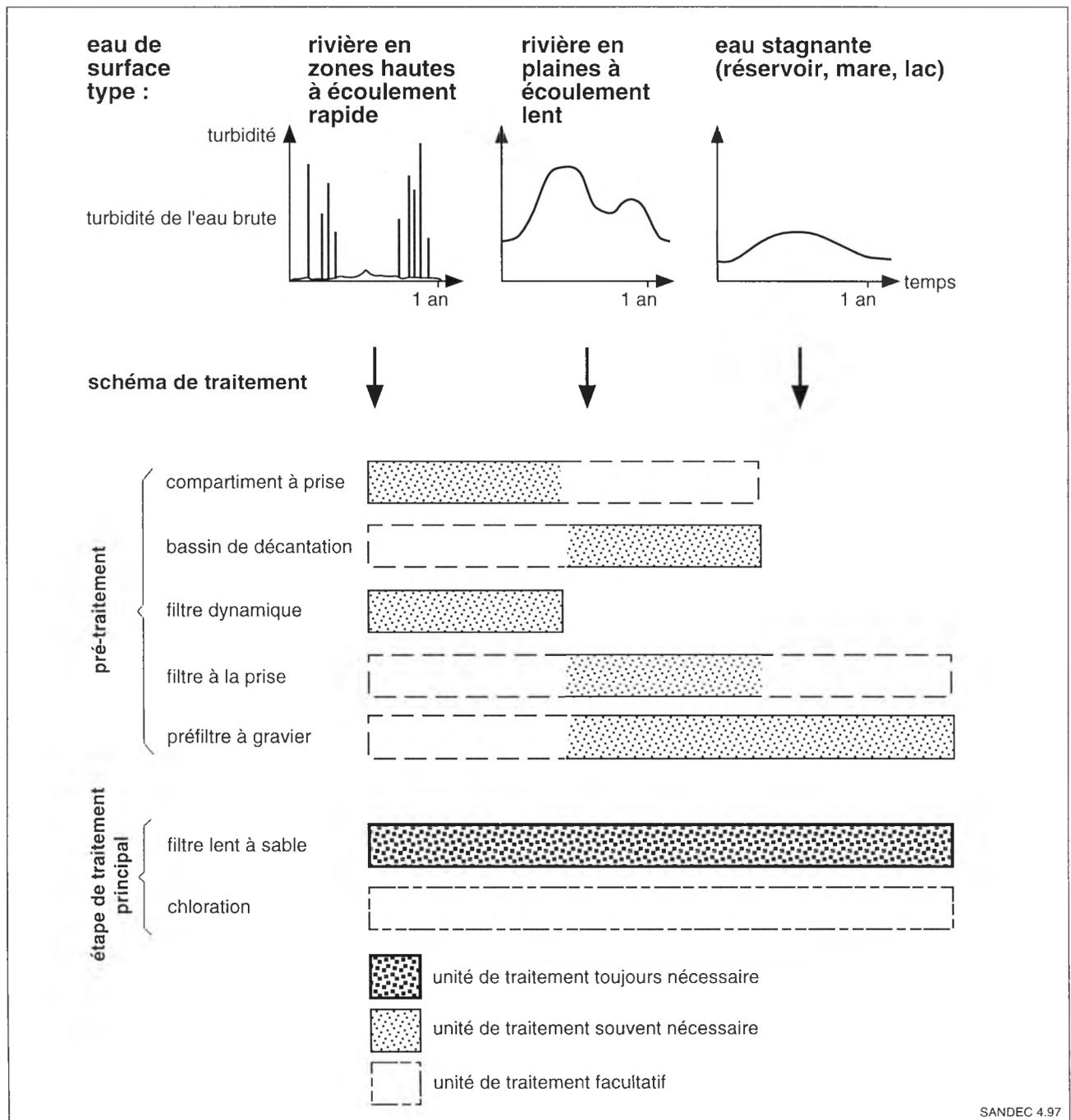
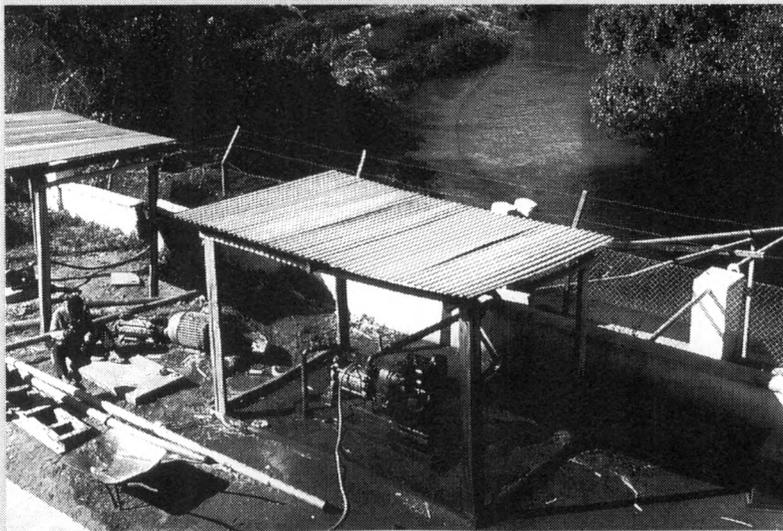


Fig. 17 Le traitement d'eau de surface

pompes contre un quelconque endommagement. Les pompes à refoulement à haute pression devraient être réservées pour l'eau traitée ou dans le cas d'un pom-

page des eaux brutes à partir de galeries d'infiltration ou de systèmes de captage similaires.

### ***Une source pour une alimentation minimum en eau***



*Iringa, une ville de l'Afrique de l'est de 80 000 habitants est agréablement située au bord d'un escarpement. Les habitants ont une belle vue sur la vallée où la petite rivière, la Ruaha, fait de doux méandres à travers les champs de maïs et de manioc. Cette rivière turbide est aussi la principale source d'eau de la ville. L'eau de la rivière est pompée à une station de traitement conventionnelle adjacente. Elle est ensuite collectée dans un réservoir d'eau claire puis elle est pompée dans une conduite remontant le long de l'escarpement raide jusqu'au château situé en ville. Iringa souffre souvent des pénuries d'eau, principalement à cause des pannes fréquentes des pompes d'eau brute. L'eau de la rivière chargée du limon use les joints d'étanchéité plastiques, ronge la roue des pompes et obstrue le système de transmission soumettant à rude épreuve le gérant de la station. Très fréquemment, aucune des pompes à eau brute ne fonctionne.*

*Heureusement que le réservoir d'eau claire est approvisionné aussi par une conduite gravitaire qui capte l'eau à partir d'une source à 10 km à travers la vallée de la rivière. La puissante pompe d'eau claire peut, par conséquent, être exploitée au moins quelques heures par jour, pour remonter l'eau claire de la source à la ville.*

*L'alimentation en eau de la source est évidemment plus fiable, non seulement grâce à son étape unique de pompage, mais aussi à cause de la meilleure qualité de son eau. La réhabilitation de la prise pourrait réduire d'une manière significative les difficultés de fonctionnement des pompes à eau brute. Les conduites d'aspiration à la prise suspendus librement dans la rivière devraient être remplacés par un puisard, ou même mieux par des filtres à la prise ou des galeries d'infiltration, qui retiendraient une grande portion de matières solides responsables de la durée de vie réduite des pompes.*

### 6.3 Les étapes de traitement

Comme présenté dans le chapitre 2, l'eau de surface doit subir un traitement à plusieurs étapes. Les solides grossiers et les impuretés sont éliminés premièrement par prétraitement, tandis que les petites particules restantes et les micro-organismes sont éliminés à l'étape finale de traitement. Si les conditions locales sont favorables, la collecte et le prétraitement de l'eau brute peuvent être combinés en une installation unique tels les filtres à la prise, et les filtres dynamiques ou même des galeries d'infiltration. La Fig. 17 illustre différents systèmes de traitement d'eau de surface. Le choix du système nécessaire dépend principalement du degré de pollution fécale et des caractéristiques de la turbidité de l'eau brute.

#### 6.3.1 L'élimination de matières grossières

L'élimination de solides grossiers de l'eau est réalisée de préférence par un bassin de décantation à haute charge (chambre à l'entrée ou par un simple bassin de décantation, étant donné que l'élimination de la boue de tels bassins est moins difficile que des préfiltres à gravier. Les bassins de décantation simples peuvent être conçus selon le plan et les valeurs guides donnés dans la Fig. 7 ou construits comme des bassins de rétention tels qu'illustrés dans la Fig. 18.

L'utilisation d'un seul bassin de décantation devrait suffire pour un petit système d'alimentation en eau. La boue accumulée peut être évacuée pendant les périodes de faible charge de solides. Une dérivation est nécessaire pour continuer l'exploitation de la station de

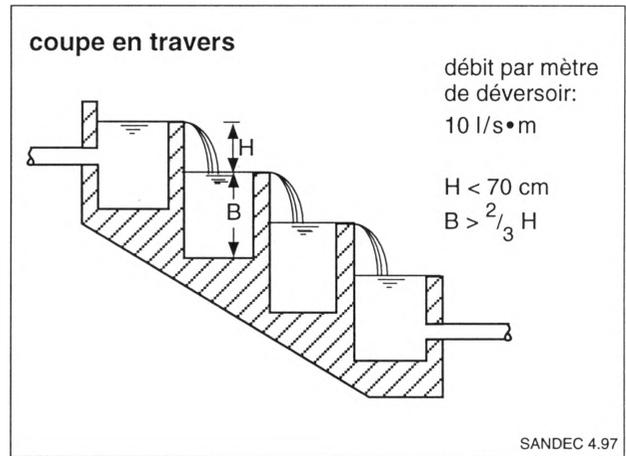


Fig. 19 Plan et conception d'une aération par cascades

traitement pendant les périodes de nettoyage. Dans les grandes stations de traitement d'eau, afin de ne pas beaucoup perturber l'exploitation, deux bassins de décantation ou plus en parallèle sont nécessaires pour permettre le nettoyage, l'entretien et la réparation d'un bassin.

#### 6.3.2 L'aération

L'oxygène dissout dans l'eau joue un rôle clé dans la biologie du procédé de filtration lente à sable. L'activité de la biomasse aérobie décroît considérablement si la concentration en oxygène dans l'eau est inférieure à 0,5 mg/l. De plus, la nitrification de l'ammoniaque est liée à une importante consommation d'oxygène, soit 1 mg de  $\text{NH}_4\text{-N/l}$  nécessite 4,5 mg de  $\text{O}_2/\text{l}$ . Aussi, **une quantité adéquate d'oxygène dans l'eau à filtrer est d'une**

**importance primordiale** Dans les préfiltres, les principaux mécanismes sont des processus physiques. Néanmoins, des réactions biochimiques peuvent aussi s'y produire notamment si l'eau brute contient des charges organiques élevées.

Les eaux de surface turbulentes contiennent suffisamment d'oxygène, et elles ne nécessitent donc pas d'aération supplémentaire. L'eau stagnante par contre peut présenter une faible concentration d'oxygène, spécialement lorsqu'elle est tirée du fond des bassins d'eau de surface polluée. Dans ces conditions des prises à niveaux multiples sont recommandées dans

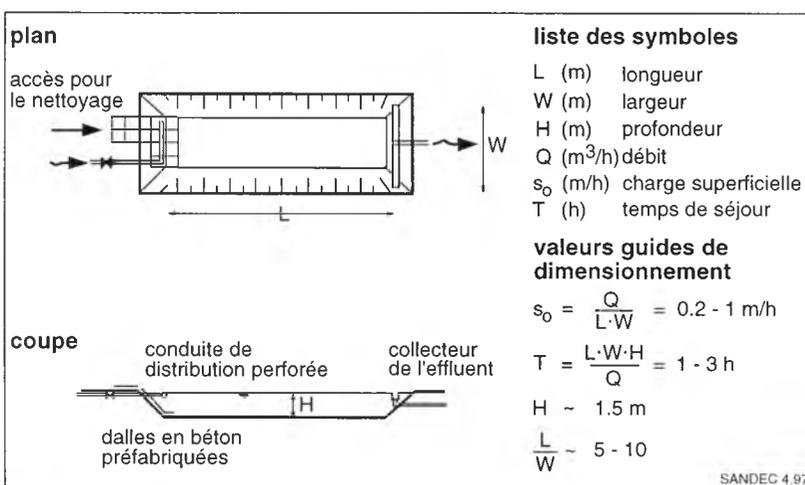


Fig. 18 Conception d'un bassin de rétention en guise de bassin de décantation

les masses d'eau stratifiées pour permettre une meilleure qualité dans l'extraction de l'eau. Cependant les eaux de surface stagnantes sont aérées de préférence.

Les cascades constituent une installation d'aération simple et efficace. Les cascades submergées, telle que décrite dans la Fig. 19, sont plutôt installées dans des systèmes gravitaires avec une hauteur hydraulique suffisante. Elle devrait de préférence être placée avant les filtres pour tenir compte d'une éventuelle demande en oxygène. Les différents déversoirs utilisés pour le contrôle du flux constituent d'autres sources d'oxygène.

### 6.3.3 La Préfiltration à Gravier comme prétraitement

**La préfiltration sert à retenir les particules solides fines** non retenues par le précédent bassin de décantation. L'effluent des préfiltres à gravier ne devrait pas contenir plus de 2 à 5 mg/l de matières solides pour satisfaire les exigences de qualité d'eau brute des filtres lents à sable.

**Les filtres à gravier grossier améliorent principalement la qualité physique de l'eau** en éliminant les matières solides et en réduisant la turbidité. Cependant, **on peut s'attendre également à une amélioration bactériologique de l'eau**, étant donné que les bactéries et le virus sont aussi des particules solides dont la taille varie approximativement entre 10 - 0,2  $\mu\text{m}$  et 0,4 - 0,002  $\mu\text{m}$  respectivement. En outre, selon la bibliographie spécialisée [27], ces organismes sont fréquemment attirés par des forces électro-statiques à la surface d'autres particules solides rencontrés dans l'eau. Ainsi, une réduction de la quantité de solides signifie aussi une réduction des agents pathogènes (**des micro-organismes causant des maladies**). L'efficacité de la préfiltration à réduire les micro-organismes pourrait être du même ordre de grandeur que pour les solides en suspension, soit une réduction à environ 1 - 3 mg/l pour une concentration d'entrée de 10 - 100 mg/l. **L'amélioration de la qualité bactériologique de l'eau peut s'élever à 60 - 99% environ**, ou autrement dit les micro-organismes sont réduits à 1 - 2 unités logarithmiques environ. Des agents pathogènes de plus grandes tailles (les oeufs, les vers), sont éliminés à une plus grande échelle encore.

**Les préfiltres à gravier sont utilisés comme stade de prétraitement avant les filtres lents à sable.** La filtration lente à sable peut ne pas être nécessaire si la

contamination bactériologique de l'eau à traiter est nulle ou faible, surtout dans le cas des eaux provenant d'une zone de captage inhabitée, ou si la contamination de l'eau par des déchets humains est prévenue par un assainissement contrôlé. Toutefois, une amélioration physique de l'eau peut demeurer nécessaire si les eaux de surface contiennent des charges de limon élevées, de manière permanente ou périodique. La présence de quantités excessives de solides dans l'eau conduit à l'encrassement des conduites et à l'envasement des bassins. **La préfiltration peut donc être utilisée sans la filtration lente à sable, pourvu que l'eau brute provienne d'un captage bien protégé et que sa contamination bactériologique soit mineure, soit moins de 20 à 50 E. coli/100 ml.**

**Les contraintes d'exploitation militent pour l'installation d'au moins deux préfiltres à gravier** dans une station de traitement. Étant donné que le nettoyage et l'entretien manuels peuvent prendre du temps, les préfiltre(s) à gravier restants sont amenés à fonctionner sous des charges hydrauliques plus élevées. Un seul préfiltre peut cependant servir dans de petites stations de traitement avec source d'eau brute de faible turbidité périodique.

### 6.3.4 La Filtration lente à sable comme traitement principal

**La réduction considérable des bactéries, kystes et virus par les filtres lents à sable est importante** de point de vue de la santé publique. Les filtres lents à sable éliminent aussi les plus fines impuretés se trouvant dans l'eau. C'est pour cette raison qu'ils sont placés à la fin de la chaîne de traitement. Les filtres agissent comme des tamis, puisque toutes les fines particules solides sont retenues à la tête du filtre. Toutefois, les activités biologiques du filtre lent à sable sont plus importantes que les processus physiques. Les matières organiques solides dissoutes et instables, qui entraînent la diminution de l'oxygène ou même des processus d'encrassement en l'absence d'oxygène, sont oxydées par les processus biologique du filtre et transformées en produits inorganiques stables. **Le film biologique situé au-dessus du lit du filtre, appelé «Schmutzdecke», est responsable de l'oxydation des matières organiques et de l'élimination des agents pathogènes.** Un filtre lent à sable produira de l'eau hygiéniquement saine une fois ce film développé.

Contrairement aux préfiltres, **la nécessité de nettoyer le filtre lent à sable est déterminée par le niveau**

**maximal possible de la perte de charge**, et non par la détérioration de la qualité de l'effluent. Cela présente quelques avantages car la mesure d'une donnée hydraulique est plus facile que la mesure des paramètres de qualité des eaux.

Des informations complémentaires sur la filtration lente à sable sont résumées en Annexe 3 et des informations détaillées sur la conception et la construction d'un filtre lent à sable sont fournies par différents manuels techniques [15, 16, 17] et des actes [28, 29, 30].

### 6.3.5 La désinfection de l'eau

**L'eau provenant d'un filtre lent à sable ayant un film biologique bien développé est hygiénique et sûre pour la consommation.** Tout traitement supplémentaire, tel la désinfection, n'est donc plus nécessaire. Comme illustré par de nombreux exemples dans plusieurs pays en développement, **l'acquisition d'un système fiable de désinfection au chlore dans les petits réseaux d'alimentation en eau des zones rurales n'est souvent pas pratique.** L'approvisionnement régulier en produits chimiques importés et le dosage correct du désinfectant sont les deux principaux problèmes pratiques rencontrés.

Cependant, **en ce qui concerne la désinfection, l'on doit distinguer les petits réseaux (ruraux) des grands réseaux (urbains) d'alimentation en eau.** Les grands réseaux de distribution, avec souvent des branchements clandestins, présentent un risque de recontamination, surtout si l'alimentation en eau est intermittente. **Dans les grands réseaux urbains, la chloration finale de l'eau est recommandée comme une garantie.** Toutefois, le chlore résiduel sera trop bas et le contact trop court pour traiter les contaminations sérieuses par infiltration des eaux polluées souterraines dans des réseaux de distribution exploités par intermittence. **Dans les réseaux d'alimentation en zone rurale, les mesures générales d'éducation sanitaire avec un accent particulier sur la manipulation correcte de l'eau, sont plus efficaces que la désinfection préventive.**

Un exemple d'exploitation d'une station de traitement de l'eau sans réactifs chimiques étrangers ni utilisation d'énergie est illustré dans la Fig. 20. Le dispositif de conduites de cette installation d'une capacité de 60 m<sup>3</sup>/jour offre la flexibilité nécessaire pour exploiter l'installation sans interruption, même pendant les activités de nettoyage et de maintenance nécessaires.

## 6.4 La Distribution de l'eau

### 6.4.1 Le Stockage de l'Eau

Pour utiliser pleinement la capacité de traitement et éviter une interférence du procédé de traitement par une exploitation intermittente, **les installations de traitement de l'eau devraient fonctionner sans interruption, de préférence 24 heures sur 24. Les filtres lents à sable en particulier, devraient fonctionner continuellement** pour offrir au film biologique un apport continu en nutriments et en oxygène. Les préfiltres à gravier sont moins sensibles aux interruptions d'exploitation, bien qu'ils exigent des précautions lors du redémarrage pour ne pas remettre en suspension les matières solides accumulées dans le filtre. Les réseaux d'alimentation en eau, exploités entièrement par gravité, peuvent supporter facilement 24 heures de fonctionnement. Il n'en est pas de même, pour les systèmes d'alimentation à pompage d'eau brute où le fonctionnement de la pompe est souvent réduit à 6-16 heures par jour. **Dans ces réseaux à pompage, la construction d'un réservoir d'eau brute peut offrir une option économiquement et techniquement valable,** car il permet un fonctionnement continu de la station de traitement et agit également comme un bassin de pré-décantation. La Fig. 21 illustre les dispositifs pour une alimentation contrôlée et constante en eau brute de la station de traitement.

**Fournir une capacité de stockage d'eau est essentielle pour compenser les fluctuations journalières des besoins en eau.** Dans les réseaux d'alimentation en eau des zones rurales, la consommation journalière d'eau se produit plus ou moins les matins et les soirs. Par conséquent, **un volume de stockage d'au moins 30 à 50% de la capacité de traitement journalier** devrait être assuré pour compenser la demande irrégulière de distribution journalière de l'eau.

### 6.4.2 Système de distribution

**L'accessibilité à l'eau plus que la qualité constitue le critère le plus important pour le consommateur,** étant donné que son souci majeur est la distance de marche entre son domicile et le point d'eau le plus proche. Par conséquent, **l'eau traitée ou de meilleure qualité doit être plus rapprochée des domiciles que les sources d'eau traditionnelles.** L'eau de rivière traitée comme nouvelle source d'eau est susceptible par exemple d'être tout de suite acceptée si la distance à parcourir jusqu'à la rivière peut être réduite substantiellement par l'installation d'un système d'alimentation en eau.

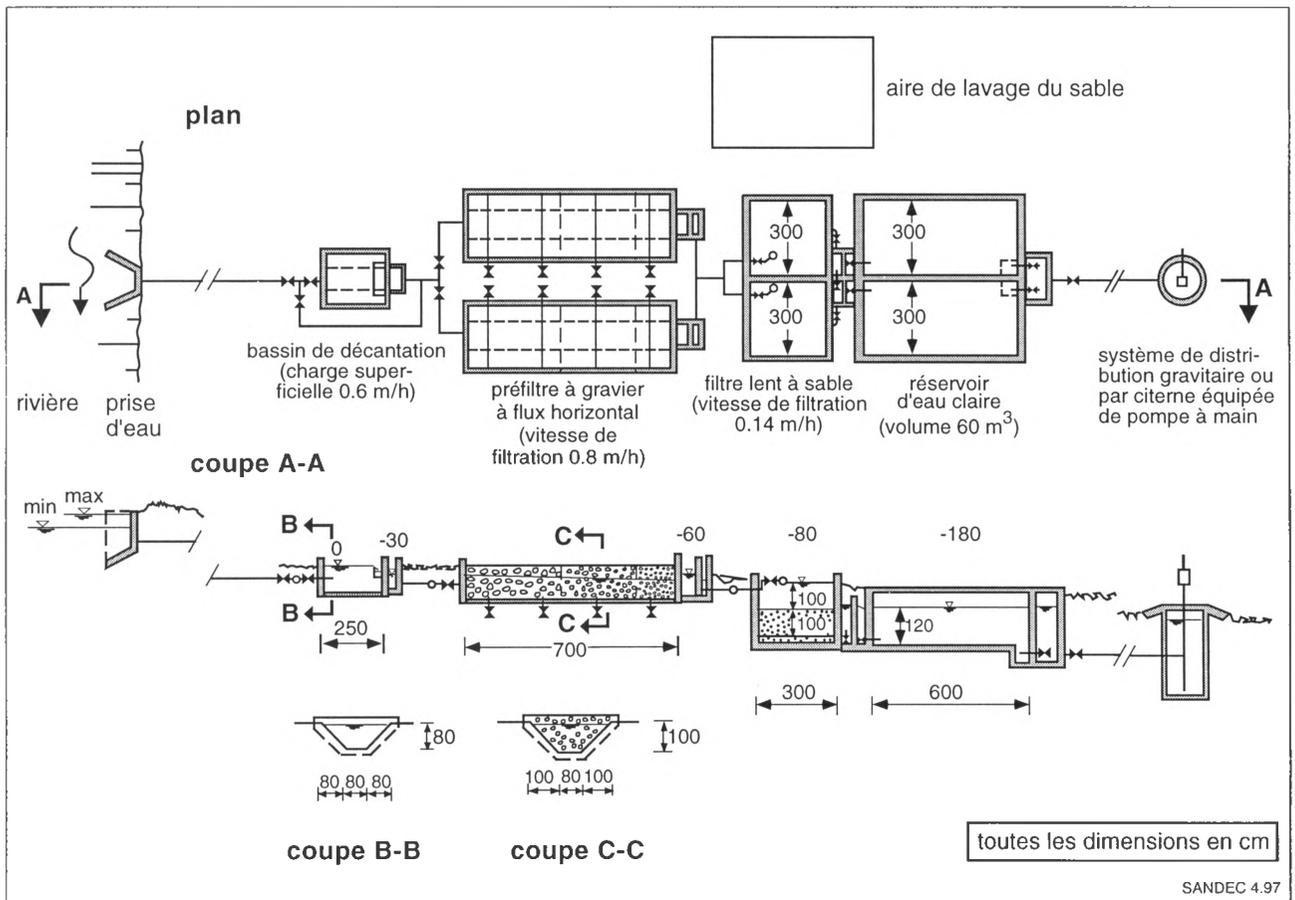


Fig. 20 Exemple de schéma de traitement d'eau

Par conséquent, la pose d'un réseau de conduites de distribution devient nécessaire. Le niveau de service d'un système de distribution dépend de la situation économique. Le coût du réseau de conduites représente entre 50 et 70% des coûts totaux d'investissement, y compris la station de traitement. **Le choix devrait porter sur les réseaux gravitaires chaque fois que possible.** Dans plusieurs cas, cependant, la topographie est défavorable et les différences en altitude doivent être vaincues par un pompage de l'eau. Les pompes nécessitent, cependant, des dépenses importantes en investissement et en fonctionnement, des pièces de rechange et particulièrement, de l'énergie; un aspect qui, à l'avenir, prendra une importance accrue. **Par conséquent, dans les réseaux d'alimentation en eau des zones rurales, l'utilisation des pompes se fait seulement lorsqu'il n'y a pas d'autres alternatives.**

La Fig. 15 illustre différents types de systèmes hydrauliques. Du côté de l'eau brute, l'eau coule par gravité, directement sur la station de traitement, ou si elle est pompée, c'est de préférence d'abord dans un bassin de

tranquillisation. En fin de traitement elle est stockée dans un réservoir et distribuée plus tard aux consommateurs par un réseau de distribution gravitaire, près de leurs habitations. **Dans un semi-réseau à conduites, l'eau coule par gravité à travers la station de traitement jusqu'au réservoir équipé de pompes manuelles,** ou bien comme alternative, le réservoir est connecté à un système de citerne situé entre le village et la station de traitement. L'eau traitée est maintenant livrée par gravité à partir de ces citernes équipées de pompes manuelles. Chaque citerne agit comme un réservoir et un point d'eau.

De tels systèmes de distribution peuvent accroître la durabilité et la fiabilité de l'alimentation, étant donné que **l'énergie fournie par les consommateurs utilisant les pompes manuelles permet le fonctionnement du système à un coût bas dans des conditions d'entretien accessibles au niveau du village.** Le système de réservoir de stockage proposé, équipé de pompes manuelles, peut limiter le gaspillage dans l'utilisation des eaux, prévenir la contamination et éviter les problèmes d'évacuation des eaux usées.

Certaines fois, le consommateur peut exiger des niveaux de service plus élevés que l'option ci-dessus mentionnée de la «pompe manuelle». D'une part, les niveaux de service plus élevés vont de pair avec une consommation accrue de l'eau et des problèmes d'évacuation des eaux usées; d'autre part, le recouvrement des coûts est plus facile lorsqu'il s'agit d'un réseau de distribution d'eau collectif qu'avec le système individuel.

Selon le niveau de service, les valeurs suivantes sont retenues pour la demande d'eau journalière par tête d'habitant q:

Les valeurs effectives q pour l'alimentation avec des pompes manuelles publiques, ou des borne-fontaines, sont grandement influencées par la distance de transport, de quelques douzaines à 300 m et plus. Pour les branchements dans les cours et chez les individus, l'utilisation de l'eau sera influencée par le niveau et la manière dont les charges d'eau sont facturées (soit un forfait mensuel ou selon le volume d'eau effectivement utilisé et enregistré par les compteurs). De plus, l'utilisation de l'eau potable pour l'irrigation des jardins potagers conduit à des besoins énormes d'eau et devrait être interdite.

- Alimentation avec pompes manuelles publiques: q = 15 à 25 l/j.personne
- Alimentation avec des bornes-fontaines publiques: q = 20 à 30 l/j.personne
- Alimentation avec branchement dans la cour: q = 40 à 80 l/j.personne
- Alimentation avec des branchements domestiques comportant de multiples robinets q = 80 à 120 l/j.personne

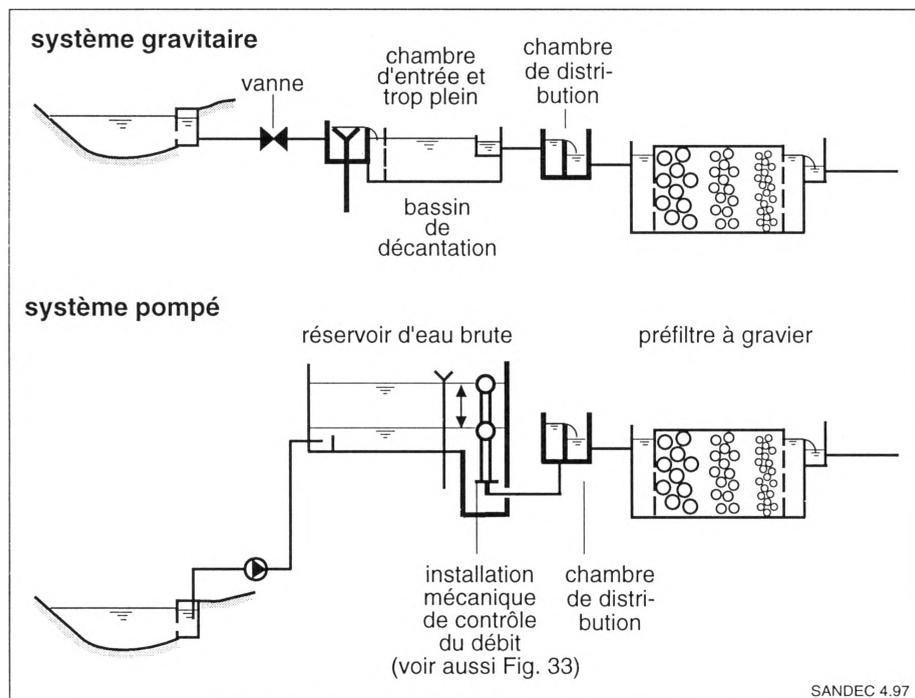
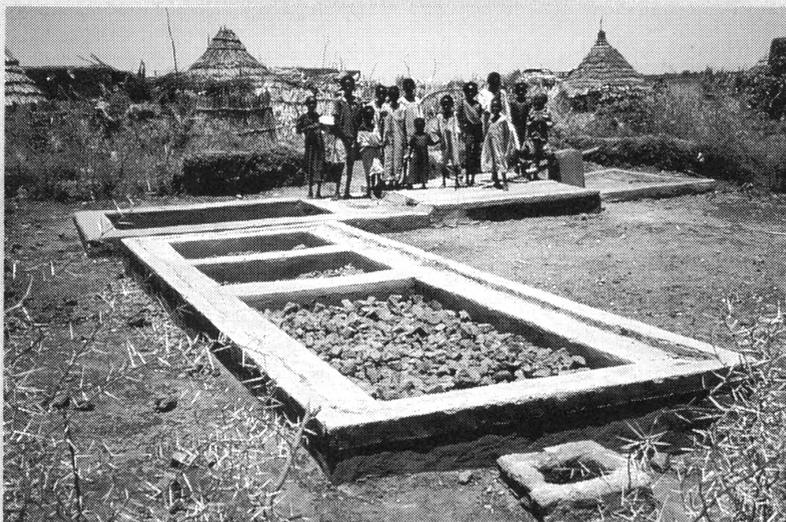


Fig. 21 Contrôle de l'alimentation et du débit d'eau brute

## **La manche de pompe manuelle maintient le système d'alimentation en eau fonctionnel**



Un grand nombre de canaux d'irrigation alimentent en eau Gezira / zone de Managil, où l'on pratique les cultures de rente, telle que le coton, le maïs et les légumes. Les sols fertiles et l'eau abondante tirée du Nil sont la base d'une agriculture bénéfique. Cependant, les revenus de la communauté d'agriculteurs qui s'est installée le long des canaux d'irrigation dans de modestes huttes en paille, sont très bas. Etant donné que le paludisme, la bilharziose et les maladies diarrhéiques sont également très répandus parmi la population, le Projet Sanitaire du Nil Bleu a été lancé pour améliorer la situation sanitaire des populations vivant dans la zone du projet.

L'absence d'infrastructures, d'énergie et les faibles revenus de la population a créé des contraintes pour l'amélioration du système d'alimentation en eau. Les villageois, vivant dans des campements de 200 à 500 personnes, tiraient l'eau de consommation à partir des canaux d'irrigation contaminée par les excré-

ments humains. Leur préférence a toujours été d'utiliser l'eau des puits. Comme l'eau souterraine n'était pas toujours disponible, le traitement de l'eau polluée des canaux d'irrigation devient nécessaire.

Dans le modèle standard réalisé pour la région du projet, l'eau du canal coule par gravité à travers un préfiltre à gravier à flux horizontal et un filtre lent à sable, dans un réservoir d'eau claire. Une pompe manuelle simple a été installée au-dessus de ce réservoir pour permettre le puisage de l'eau traitée de cette installation. Les coûts de fonctionnement sont maintenus au minimum et comprennent principalement l'achat de nouveaux joints d'étanchéité plastiques de la pompe manuelle remplacés tous les deux mois et le nettoyage des filtres par la communauté deux fois par an. La contribution journalière en énergie des tireurs d'eau au manche de la pompe manuelle maintient le système et fournit de l'eau propre même aux moins privilégiés de la société.

## 7. Application de la préfiltration sur gravier

### 7.1 Historique

**Le potentiel de traitement naturel de l'eau a été adopté longtemps avant que les méthodes de traitement chimique de l'eau,** telles la chloration et la floculation, soient découvertes et appliquées. **Le gravier et le sable utilisés comme matériaux de filtration sont les composants clés des procédés de traitement naturel.** Bien que le sable ait pu garder son rôle important depuis le développement des premiers filtres lents à sable au début du siècle dernier, l'utilisation des préfiltres à gravier a été remplacée avec succès par les procédés de traitement chimique de l'eau. Une revue exhaustive de l'application du filtre à gravier ne fait pas partie des objectifs de ce manuel. Cependant, **quelques exemples présentés ci-après montreront que la technologie des préfiltres à gravier est un vieux procédé de traitement de l'eau** utilisé dans le passé et redécouvert ces récentes années.

De nombreux châteaux et forts ont été construits en Europe au Moyen-Âge. Ils étaient situés à des points stratégiquement importants, difficiles à conquérir et à alimenter en eau. Des installations ingénieuses d'alimentation en eau étaient par conséquent construites. **Un bon exemple est l'ancien château de Hohentrins,** situé au sommet d'un récif rocheux et abrupt, dans la vallée des Alpes suisses du Rhin. Pendant les périodes de guerre, les personnes recherchant refuge dans ce château comptaient sur l'eau de pluie collectée dans la cour et stockée dans une citerne. Dans cette zone intensément utilisée, ce n'était cependant pas possible d'éviter la pollution de l'eau d'origine humaine et animale. Par conséquent, afin de traiter l'eau, **une couche de gravier était installée à l'entrée de la citerne.** Cela est probablement l'un des premiers préfiltres à gravier utilisés pour traiter l'eau de surface [31].

En 1804, John Gibb construisit **la première station de filtration pour une alimentation en eau publique à Paisley en Ecosse.** Afin de prétraiter l'eau de rivière boueuse, John Gibb conçut et construisit un filtre à la prise décrit ci-après.

«L'eau du Cart coulait à un puits équipé de pompe à travers un filtre dégrossissant de 75 pieds de long, composé d'éclats de pierre, les plus petites tailles se trouvant plus près du puits qu'à l'amont. Ces pierres étaient placées dans une tranchée d'environ huit pieds de large et quatre pieds de profondeur, couvertes de

'tapis Russes' au-dessus duquel la terre a été nivelée», (cité de [1]).

L'eau brute pré-traitée était alors refoulée par une pompe équipée d'un moteur à vapeur, à 16 pieds au-dessus de la rivière d'où elle coulait par gravité dans la station de traitement d'eau. Cette installation comportait trois anneaux concentriques de six pieds de largeur chacun et rangés autour d'un réservoir central d'eau claire mesurant 23,5 pieds de diamètre. L'eau coulait horizontalement de l'anneau extérieur qui était utilisé comme un bassin de décantation, à travers les deux autres anneaux vers le centre pour se déverser dans un réservoir d'eau claire. Les deux anneaux intérieurs contenaient du gravier et du sable grossier et très fin, comme matériaux filtrants. **John Gibb appliquait, déjà en ce moment, l'approche de traitement à multiples étapes, c'est-à-dire que le filtre à la prise, le bassin de décantation et le filtre à gravier étaient utilisés comme des procédés de prétraitement avant la filtration à sable.** Beaucoup d'autres stations de traitement d'eau en Angleterre suivirent l'exemple de Paisley et appliquèrent la filtration à gravier grossier et lente à sable. Au siècle dernier, la pratique générale en matière de traitement de l'eau en Grande Bretagne comportait l'utilisation de la filtration multiple sous forme de préfiltres à gravier précédant les filtres lents à sables. Ce fut seulement en 1925 que les filtres rapides à sable ont été lentement introduits pour accroître la capacité des filtres lents à sable. Aux Etats-Unis cependant, l'argile contenue dans l'eau brute empêchant le fonctionnement adéquat du filtre lent à sable fut une raison pour développer les filtres rapides à sable à la fin du siècle.

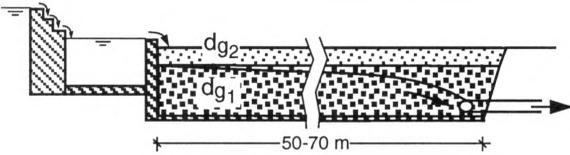
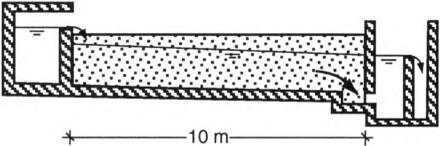
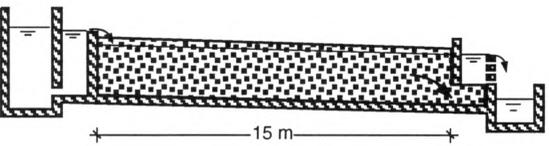
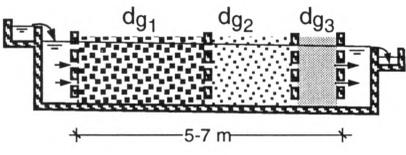
**Les filtres Puech-Chabal, fabriqués en France** en 1899 pour traiter une partie de l'eau fournie à la ville de Paris, sont un autre exemple d'application de préfiltres à gravier. Le réseau de traitement comprenait une série de filtres et de cascades pour traiter l'eau de surface turbide. **L'eau coulait à travers quatre préfiltres à gravier à flux descendant et un soi-disant préfiltre, avant d'être traitée par un filtre de finition.** Les cascades servaient pour aérer l'eau entre les différentes étapes de filtration. La taille des matériaux filtrants décroissait successivement, et la vitesse de filtration diminuait également de filtre en filtre. Le système de traitement Puech-Chabal était utilisé d'une manière intense en Europe. Dès 1935, 125 stations étaient construites en France, environ 20 en Italie et quelques-unes dans d'autres pays européens [1].

**Après quelques temps, les préfiltres à gravier étaient pratiquement convertis en filtres rapides ou mécaniques.** La coagulation, associée à la sédimentation, a été

introduite comme une méthode de prétraitement et, plus récemment, la filtration directe (la coagulation, la floculation et l'élimination des matières solides se faisant entièrement dans les unités de filtration) ont remplacé la technologie des préfiltres. Ces récentes années cependant, **la technologie des préfiltres à gravier a été rétablie en Europe à travers son utilisation dans les stations de recharge d'eau souterraine artificielle.**

Au début de 1960, les spécialistes de l'eau de Dortmund en Allemagne, construisirent des préfiltres à gravier à flux horizontal de 50 à 70 m de longueur chacun, qui fonctionnaient à une vitesse de filtration d'environ 10 m/h [32]. L'eau brute tombe sur une cascade d'aération, traverse un bassin de décantation avant d'entrer dans le préfiltre à gravier au-dessus du lit. La zone d'entrée du filtre est progressivement colmatée avec le temps de fonctionnement prolongé, et le colmatage progresse lentement vers la chambre de sortie du filtre. Après la préfiltration, l'eau tombe sur une seconde cascade, s'infiltre dans le lit du filtre à sable et atteint finalement l'aquifère. D'autres spécialistes de l'eau en Europe (en Suisse et en Autriche par exemple) ont suivi l'exemple de Dortmund avec des modèles modifiés de préfiltre à gravier à flux horizontal comme indiqué en Fig. 22.

**Les fleuves européens présentent généralement une faible turbidité.** Cependant, le fonctionnement des filtres est arrêté pendant les courtes périodes de turbidité élevée. Une alimentation continue en eau est garantie aux consommateurs par l'utilisation de la capacité de stockage d'eau de l'aquifère. Contrairement aux stations de filtration dans les climats tempérés, **les préfiltres à gravier dans les pays tropicaux doivent généralement traiter de l'eau brute d'une turbidité élevée en permanence ou selon la saison.** Etant donné que les aquifères ne sont pas souvent disponibles suite aux conditions hydrogéologiques défavorables, les systèmes d'alimentation en eau sont contraints à tirer l'eau de surface directement, la traiter et la fournir aux consommateurs tout au long de l'année et même quand la qualité de l'eau brute est extrêmement mauvaise. Une attention particulière doit être apportée pendant toute la saison pluvieuse; au début de la période, quand le risque de manifestation d'une épidémie de maladie diarrhéique est élevé à cause de la pollution des eaux de surface par les matières fécales transportées par la pluie; et par la suite, pour faire face aux lourdes charges de sédiment lorsque la pollution fécale serait réduite par une dilution élevée. Un traitement efficace et fiable de l'eau est néanmoins requis égale-

alimentation en eau	coupe longitudinale	vitesse de filtration $v_F$	taille du gravier $d_g$
<b>Dortmund, Allemagne</b>		15-20 m/h	$d_{g1} = 32 - 64 \text{ mm}$ $d_{g2} = 8 - 16 \text{ mm}$
<b>Graz, Autriche</b>		14-18 m/h	$d_g = 8 - 32 \text{ mm}$
<b>Aesch, Suisse</b>		5-10 m/h	$d_g = 50 - 80 \text{ mm}$
<b>pays en développement</b>		0.5-1 m/h	$d_{g1} = 12 - 18 \text{ mm}$ $d_{g2} = 8 - 12 \text{ mm}$ $d_{g3} = 4 - 8 \text{ mm}$

SANDEC 25.8.95

Fig. 22 Dispositifs types des préfiltres à gravier à flux horizontal

ment pendant la saison sèche lorsque les eaux de surface dans les zones arides peuvent recevoir des eaux usées mal diluées. La nécessité d'avoir des procédés de traitement d'eau fiables et simples a conduit au développement de la préfiltration à gravier, qui a reçu une attention considérable ces dernières années. **Des études sur le dimensionnement et la performance des préfiltres exploités dans les conditions tropicales de qualité des eaux ont été et sont toujours conduites par divers groupes de recherche.**

## 7.2 Le développement des préfiltres à gravier

Motivées par la simplicité des préfiltres à gravier à flux horizontal, diverses institutions se sont embarquées dans des études en laboratoire et sur le terrain, afin d'évaluer le potentiel de ces filtres pour réduire la concentration de matières solides contenues dans les eaux de surface turbides. En 1977, l'**Institut Asiatique de Technologie (AIT) à Bangkok, en Thaïlande**, conduisit des tests de laboratoire sur un préfiltre comprenant sept couches de gravier [33]. Plus tard trois stations de traitement à grande échelle, appliquant le modèle de préfiltre de l'AIT, ont été construites, en association avec des unités de filtres lents à sable. Les stations de traitement, suivies pendant environ six mois, ont révélé une bonne performance des préfiltres qui a permis le fonctionnement des filtres lents à sable pendant plusieurs mois [34]. Ces investigations furent, cependant, arrêtées et, par conséquent, marquèrent la fin du projet en Thaïlande. Depuis 1979, le Centre Pan-Américain d'Ingénierie Sanitaire (CEPIS/PAHO) a conduit un programme expérimental qui a abouti à la préparation d'un manuel détaillé de revue et de conception présentant la technologie du préfiltre à gravier [35].

L'**Université de Dar es Salaam, en Tanzanie**, s'est embarquée dans des tests de filtration en laboratoire en 1980. Au départ, des investigations sur les préfiltres à flux vertical ont révélé une courte période de fonctionnement du filtre, quelques jours seulement. Par la suite, le concept du préfiltre à gravier à flux horizontal a été développé et le modèle testé avec un canal de 15 m de long, rempli de trois couches de gravier dont la taille varie entre 16-32, 8-16 et 4-8mm. Les tests de laboratoire indiquèrent clairement que l'élimination de beaucoup de matières solides est réalisée seulement dans les conditions d'écoulement laminaire, étant donné que la sédimentation est le procédé prédominant dans la préfiltration à gravier [36]. Des tests sur le terrain ont alors été conduits pour évaluer l'applicabilité du cou-

plage des préfiltres à gravier à flux horizontal avec le filtre lent à sable. Les investigations de la station pilote comparèrent la résistance atteinte par les différents filtres lents à sable alimentés avec l'eau de rivière turbide non traitée ou préfiltrée. Une importante augmentation de la durée de fonctionnement des filtres lents à sable fut réalisée avec la préfiltration. Les tests de terrain révélèrent que la préfiltration sur gravier à flux horizontal associée à la filtration lente à sable pourrait être un système fiable de traitement pour les eaux de surface turbides. [37]

De 1982 à 1984, des tests de filtration extensifs ont été conduits par le service **des Eaux et de l'Assainissement dans les Pays en Développement (SANDEC)**, ancien IRCWD, dans les laboratoires de l'**Institut Fédéral Suisse des Sciences de l'Environnement et de la Technologie (EAWAC) à Duebendorf, en Suisse**. Une suspension standard de kaolin a été utilisée pour observer les mécanismes de la préfiltration à flux horizontal. Deux résultats importants de test de laboratoire ont été établis que l'efficacité du filtre est à peine influencée par les propriétés de surface du matériau filtrant, et que la régénération du filtre peut être rehaussée par le drainage. Les résultats des recherches sont résumés dans un document scientifique [10]; les aspects plus pratiques de la mise en oeuvre des préfiltres à gravier à flux horizontal sont consignés dans un manuel de conception, de construction et d'exploitation [38]. Dans un effort conjoint, l'Université de Surrey, l'Organisation Del'Agua et CEPIS/PAHO ont développé et exécuté une pré-filtration verticale au Pérou en 1985. La mise en place et l'évaluation des préfiltres à gravier à flux horizontal [12] ont été beaucoup soutenus par SANDEC dans les années suivantes.

Financièrement appuyées par la **Direction du Développement et de la Coopération Suisse**, qui a déjà **co-financé les tests en laboratoire du SANDEC, la promotion et la vulgarisation de la technologie des préfiltres à gravier à flux horizontal** ont commencé en 1986. Sous l'assistance technique de SANDEC, ces ingénieurs d'institutions locales ont conçu des stations de démonstration en vue d'étudier cette technologie et d'obtenir une expérience pratique du procédé de traitement. Fréquemment, les préfiltres à flux horizontal ont été construits afin de réhabiliter les stations de filtres lents à sable défectueuses.

Dans les dix dernières années, **la technologie des filtres ainsi popularisée s'est répandue dans plus de 20 pays et, à notre connaissance, plus de 80 stations de préfiltres horizontaux ont été construites pendant cette période** [39]. La Fig. 23 donne la liste des pays

où ces filtres ont été construits. Des informations de base sur la préfiltration à gravier, aussi bien que de nouvelles approches et concepts développés par des ingénieurs locaux et l'expérience pratique de la technologie sur le terrain, sont présentées dans les chapitres suivants de cette publication.

De plus, plusieurs institutions ont conduit des études supplémentaires, généralement sous la forme de travaux de recherches du 3<sup>e</sup> cycle [40, 41, 42, 43, 44, 11, 12], sur le procédé du préfiltre à flux horizontal. **L'Université de Dar es Salaam en Tanzanie, l'Université de Technologie de Tampère, en Finlande, l'Université de Surrey à Guildford, en Angleterre, l'Institut International pour l'Ingénierie Hydraulique et Environnemental à Delft, l'Université de Technologie de Delft, au Pays-Bas et l'Université de Newcastle-sur-Tyne en Angleterre, ainsi que l'Université de New Hampshire à Durham, USA** ont conduit, parmi d'autres institutions, des tests en laboratoire et sur le terrain avec des

préfiltres. De plus, les tests en laboratoire avec un lit filtrant de galets ont été menés au collège Impérial de Londres, en Angleterre [45].

Diverses méthodes de prétraitement, y compris la préfiltration à flux horizontal, sont présentement testées sur le terrain à titre de comparaison; par un **programme de recherche extensive à Cali, en Colombie où le Centre Inter-Régional de Abastecimiento y Remocion de Agua (CINARA) fait des investigations, en collaboration avec le Centre International de l'Eau et de l'Assainissement (IRC) de la Hayes, au Pays-Bas**, et diverses autres institutions techniques internationales et agences d'appui; sur le potentiel pour optimiser et simplifier les procédés de prétraitement [46].

Enfin des études sont menées depuis 1992 à l'Ecole Inter-Etats d'Ingénieurs de l'Équipement Rural à Ouagadougou (EIER) sur une station pilote de préfiltres à flux horizontal et de filtres lents à sable [47].

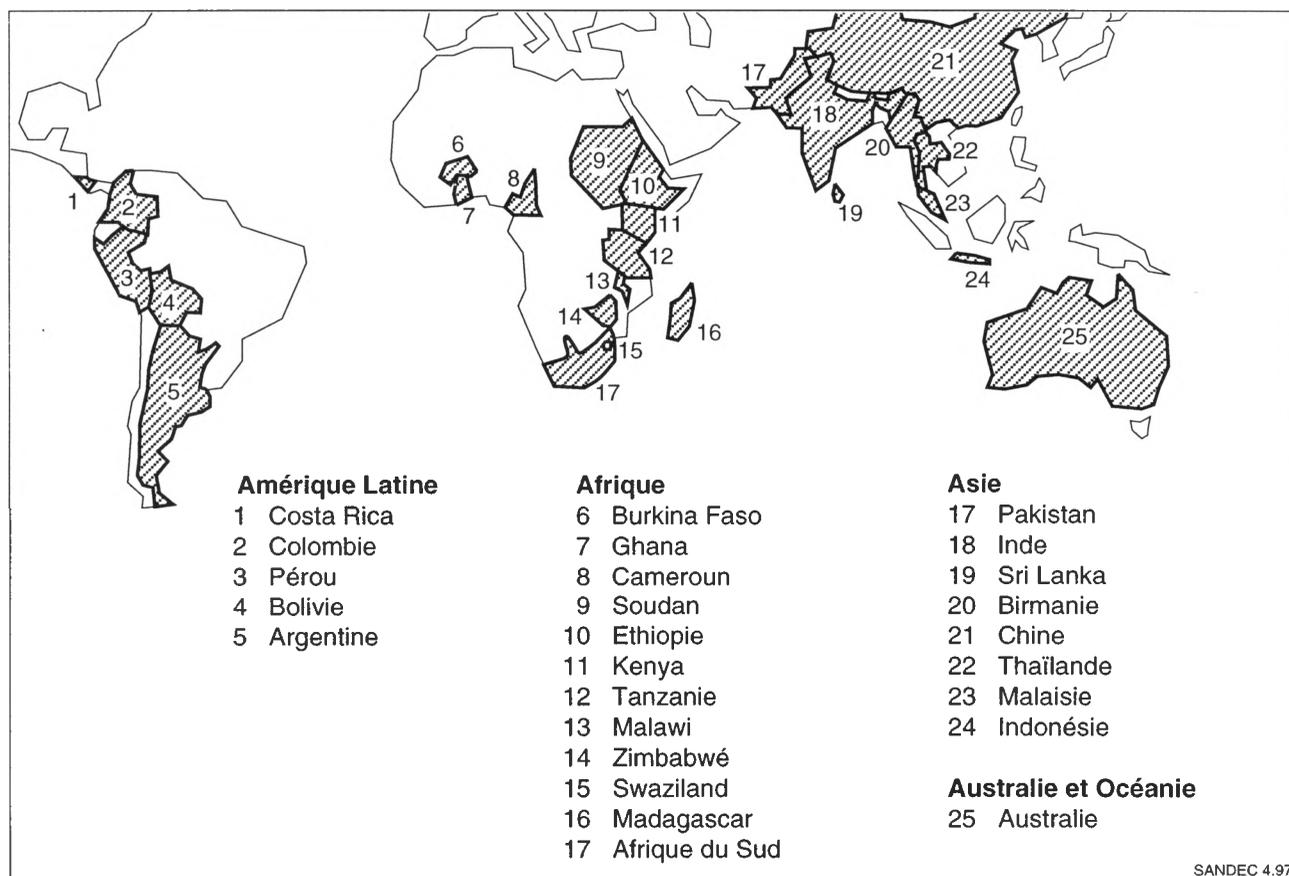
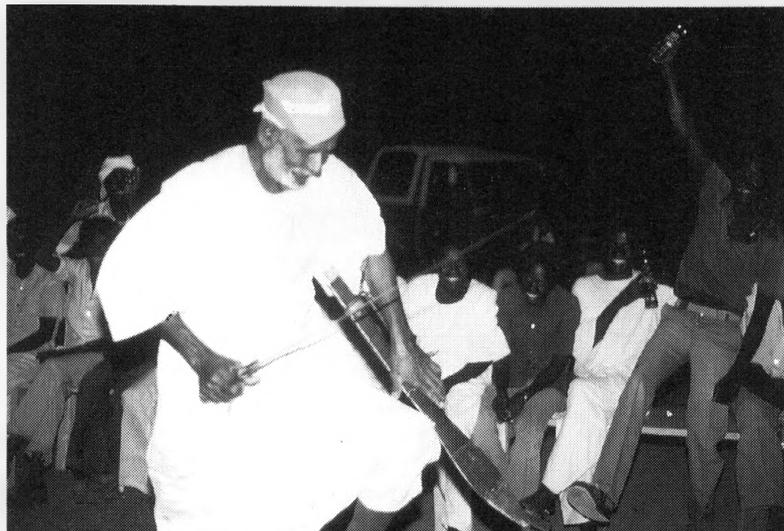


Fig. 23 La répartition géographique de l'utilisation des préfiltres à gravier à flux horizontal

## De «l'Eau chaude» pour la promotion du filtre



Sadig, le directeur du Programme d'alimentation en Eau, peut être fier du progrès de son projet. Une carte sur le mur derrière son bureau est couverte de petites punaises indiquant l'emplacement des projets de filtre. Toutes les punaises sont disposées le long des canaux d'irrigation utilisés comme source d'eau brute pour le système d'alimentation en eau des petits villages. Le programme a commencé il y a trois ans et depuis, plus de 30 réseaux ont été mis en marche. Un succès qui n'est pas partagé par le progrès d'autres projets de développement exécutés dans la région.

Les punaises sur la carte étaient de différentes couleurs, à savoir du rouge, du vert et du bleu, selon l'année de construction. Les punaises n'étaient pas disposées d'une manière régulière sur la carte. Certaines étaient éparpillées le long des canaux, mais un bon nombre de punaises était regroupé autour d'une zone réduite de la carte. Toutes les punaises, excepté une, étaient vertes et bleues; l'unique punaise rouge était marquée «Hariga», le nom du village.

Ni le bureau du projet, ni l'atelier ou le centre de formation n'était situé près d'Hariga. Néanmoins, ce point semblait être le point focal du projet. Le visage du directeur s'illumina d'un grand sourire lorsqu'il nous révéla le secret de Hariga. Le village était reconnu de tout le monde pour sa production illégale d'alcool. Des clients des villages voisins venaient acheter l'alcool distillé la nuit et l'achat était souvent associé à des activités sociales joyeuses. Etant donné que la distillation n'était pas encore bien raffinée, l'alcool devait être dilué avec de l'eau claire issue du filtre récemment installé. Les clients nocturnes voyaient la station de traitement, appréciaient l'eau claire comme du cristal et désiraient une installation similaire dans leur village.

Sadig a choisi Hariga exprès comme site de démonstration, pour introduire le nouveau procédé de traitement, étant donné que Hariga signifie «Eau chaude» dans la langue locale...



# DEUXIEME PARTIE

## Conception, construction et exploitation des préfiltres à gravier

### 8. Classification des préfiltres à gravier

Comme indiqué dans le Tableau 1, **les filtres peuvent être classés selon la taille des matériaux du filtre ou la vitesse de filtration** dans les catégories suivantes: les filtres à cailloux, les préfiltres à gravier, les filtres rapides à sable et les filtres lents à sable. Les préfiltres à gravier, utilisant principalement le gravier comme matériel de filtration, sont exploités sans réactifs chimiques et ne nécessitent pas d'équipements mécaniques sophistiqués pour leur exploitation et leur maintenance. Néanmoins, leur conception et leur application varient considérablement. **Les différents types de préfiltre à gravier sont classés selon:**

- **l'emplacement** au sein du système d'alimentation en eau
- **La raison principale de son utilisation**
- **le sens de l'écoulement de l'eau**
- **la conception et dimensionnement du filtre**
- **la technique de nettoyage du filtre**

**Des galeries d'infiltration** peuvent être construites dans le lit de la rivière ou près de la berge pour capter l'eau de surface et la prétraiter en même temps. Il s'agit là d'une technique ancienne. Les galeries d'infiltration consistent principalement en une tranchée creusée et remplie de couches de gravier et de sable, autour d'une conduite perforée. Cependant, les travaux de construction dans les aquifères contenant de l'eau

pourraient s'avérer difficiles, à moins que d'importants dépôts d'alluvion et les variations élevées de l'écoulement saisonnier ne prévalent comme c'était le cas en Asie du Sud-Est. Là, la galerie d'infiltration pourrait être une technologie de choix pour la prise d'eau, étant donné que ces systèmes n'ont presque pas besoin de maintenance, et que par ailleurs, elle peut être facilement installée pendant la saison sèche, pourvu que les caractéristiques de l'aquifère empêchent le colmatage et le passage des matières fines. D'une manière générale, la maintenance et le nettoyage des galeries d'infiltration sont à peine possibles à moins d'être installées sur les berges de la rivière ou dans le lit des canaux d'irrigation, là où l'écoulement peut être réglé ou même interrompu. De telles régulations du débit permettent une exploitation contrôlée, protègent les couches de gravier installées, contre l'érosion par l'eau, et facilitent les travaux de maintenance, notamment le remplacement du matériau filtrant. Cependant, à cause de leur application limitée et les inconvénients d'exploitation brièvement mentionnés ci-dessus, les galeries d'infiltration ne seront pas présentées davantage dans ce manuel.

**Les filtres à la prise et les filtres dynamiques** sont généralement les premières composantes d'un système de traitement. Semblables aux galeries d'infiltration, ils font souvent partie intégrante de l'installation de prise d'eau. Les filtres à la prise sont utilisés comme une première étape de traitement, principalement pour éliminer les matières solides. La concentration réduite de matières solides dans l'eau pré-traitée permet une réalisation et une exploitation plus économiques des unités

Type de filtre	Taille des matériaux filtrants dg [mm]	Vitesse de filtration $v_f$ [m/h]
filtre à cailloux	> 50 mm	1 - 5 m/h
préfiltre à gravier	20 - 4 mm	0.3 - 1.5 m/h
filtre rapide à sable	4 - 1 mm	5 - 15 m/h
filtre lent à sable	0.35 - 0.15 mm	0.1 - 0.2 m/h

Tableau 1 Classification des filtres

de filtres qui suivent. Les filtres dynamiques servent à protéger la station de traitement contre des pointes de concentration de matières solides. Aussi, sont-ils généralement utilisés moins pour l'amélioration de la qualité de l'eau, que pour protéger la station de traitement contre de lourdes charges de limon et pour éviter de pénibles travaux de nettoyage des filtres colmatés.

Les préfiltres à gravier sont généralement situés à la station de traitement et sont utilisés comme le dernier procédé de prétraitement avant la filtration lente à sable. Ces filtres peuvent être exploités soit comme des filtres à flux ascendant, descendant ou horizontal. Les différentes couches de gravier des préfiltres sont installées soit en compartiments séparés et exploitées ainsi en série, soit placées en couches successives de différentes tailles dans le même compartiment.

**Le nettoyage du filtre**, qui se fait manuellement ou par moyen hydraulique, dépend de la distribution des matières solides retenues dans le filtre. Les filtres à la prise et les filtres dynamiques retiennent les matières solides généralement dans leur zone d'entrée et agissent par conséquent comme **des filtres de surface**. Le gravier relativement fin de ces filtres est nettoyé manuellement en raclant la surface du filtre avec une pelle ou un râ-

teau, et en nettoyant à grande eau les matières solides retenues dans le lit du filtre. Les préfiltres à gravier contenant des matériaux filtrants de tailles différentes agissent comme **des filtres à lit** profond et permettent une pénétration profonde des matières solides à l'intérieur du filtre. Un nettoyage périodique à grande eau élimine les matières solides accumulées. Les préfiltres à gravier risquent l'engorgement si les matières solides retenues ne sont pas complètement éliminées par un lavage hydraulique du filtre. En cas d'engorgement il est nécessaire d'effectuer un nettoyage manuel énergique du filtre. Cet engorgement doit donc être évité autant que possible par les drainages réguliers et efficaces des filtres. La construction de lits peu épais dans les préfiltres à gravier à flux ascendant réduit les travaux de construction et de maintenance et finalement, le nettoyage manuel également. Par ailleurs, de tels préfiltres ne peuvent convenir qu'avec de l'eau brute à turbidité modérée.

Un schéma général des différents préfiltres est donné à la Fig. 24, les principales différences dans l'utilisation et la configuration des préfiltres sont résumées dans le Tableau 2. Les données de conception et d'exploitation sont aussi expliquées respectivement aux chapitres 10 et 14.

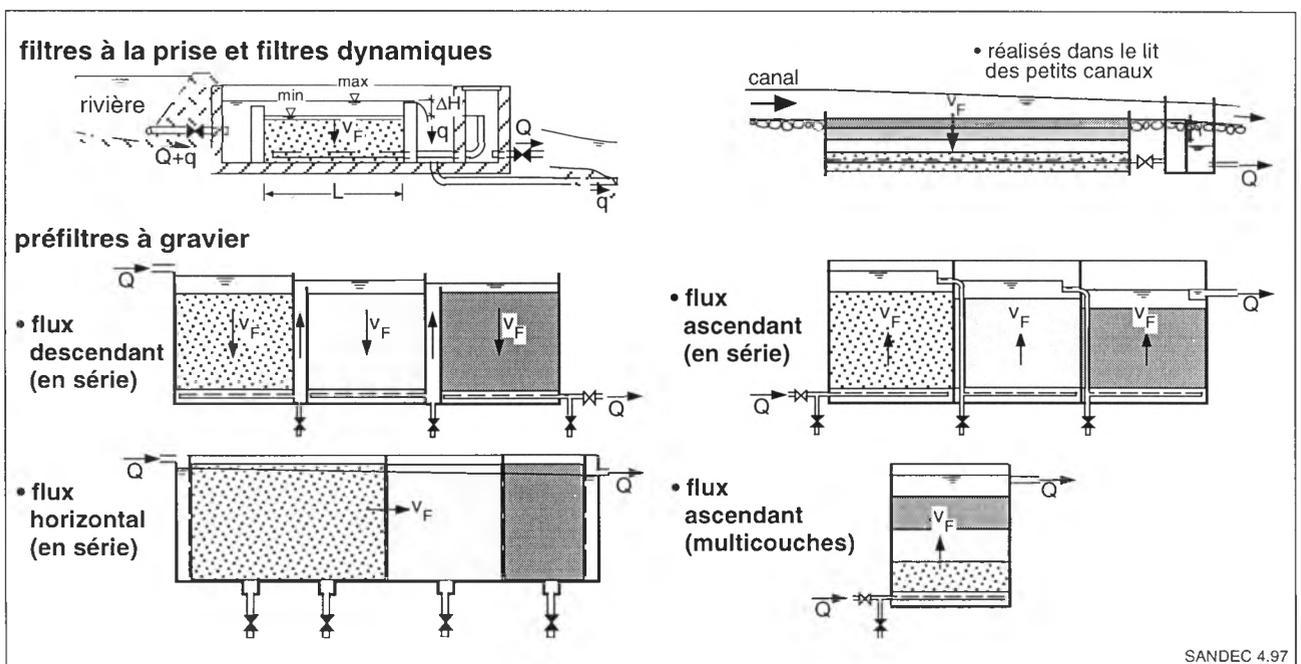


Fig. 24 Classification des préfiltres

	procédés courants	procédés alternatives	emplacement			objectif		sens de l'écoulement		dimensionnement du filtre		nettoyage du filtre		
			lit de rivière ou canal	site de la prise d'eau	station de traitement	captage d'eau	protection des filtres en aval	amélioration de la qualité de l'eau	non maîtrisé	vertical	horizontal	un seul filtre	plusieurs filtres	manuel
1														
2														
3														
4														
5														
6														
7														

1 galerie d'infiltration

2 filtre à la prise

3 filtre dynamique

4 préfiltre à gravier multicouches à flux ascendant

5 préfiltre à gravier à flux ascendant en série

6 préfiltre à gravier à flux descendant en série

7 préfiltre à gravier à flux horizontal

Tableau 2 Usage et conception de préfiltres à gravier

## **Des enfants comme promoteurs d'un projet de galerie d'infiltration**



*Différents pays d'Afrique de l'Est souffrent de la guerre civile. Cette situation crée une misère énorme et conduit des milliers de personnes loin de leurs villages et villes d'origine. Elles deviennent des réfugiés sans aide, cherchant à échapper à la cruauté et la famine. Les sans-abris s'installent parfois près des grands campements où ils essaient de survivre, comme ce fut le cas d'une ancienne ville frontalière et centre commercial. Au cours de ces dernières années, la population de cette ville s'est rapidement accrue, jusqu'à 15 000 habitants, d'origine réfugiés et migrants. Des installations d'alimentation en eau et d'assainissement largement inappropriées, posent de véritables problèmes à la municipalité qui pourraient déboucher subitement sur une épidémie de choléra.*

*La ville utilise la grande rivière comme source d'alimentation en eau. L'eau brute était à l'origine pompée sur une colline à quelques 1 500 m où une station de traitement compacte, offerte par une agence d'aide européenne, n'a jamais servi parce que hautement sophistiquée. La peinture se détache des citernes et certaines des parties mobiles disparaissent. C'est pourquoi la population puise l'eau de la rivière fortement polluée par des excréments humains.*

*Mesfin, un dynamique ingénieur autochtone des services d'hygiène, conscient de la situation inadmissible et dangereuse, a approché des agences d'aide extérieures et leur a demandé de financer un projet d'alimentation en eau dans sa ville. Il a invité les directeurs nationaux de la capitale dans sa ville et les a conduits au pont construit sur la rivière. De là, la délégation a vu des enfants creusant un trou dans le lit de la rivière. De l'eau claire commença à jaillir lorsque le trou fut aussi profond que la longueur d'un bras d'enfant. Cela suggéra à Mesfin d'installer une galerie d'infiltration dans le lit plein de gravier et de sable de la rivière, d'une profondeur de 2 m et de construire une plate-forme de pompage près de la rive. En voyant cette simple présentation, la délégation approuva le projet de Mesfin, peu conventionnel mais approprié.*

*Une année après, le projet était inauguré par les autorités de la région avec des invités de la capitale. La turbidité de 500 NTU de l'eau brute a été réduite à 15 NTU par la galerie d'infiltration, une valeur similaire à celle réalisée par les enfants et leur trou.*

## 9. Les aspects généraux de la conception d'un préfiltre à gravier

### 9.1 Les caractéristiques principales

Bien que diverses installations soient requises en général pour une exploitation et une maintenance adéquate d'un filtre, la partie du filtre la plus importante reste néanmoins sa surface. **Un filtre comprend les six éléments suivants**, comme l'illustre le schéma de la Fig. 25:

- Le système de réglage du débit d'entrée
- la répartition de l'eau brute
- le filtre proprement dit
- la collecte de l'eau traitée
- le système de réglage du débit de sortie
- le système de drainage

**La vitesse d'entrée dans le filtre** doit être faible et le débit maintenu constant. Un flux constant est indispensable pour une exploitation efficace du filtre. En vue de simplifier le réglage du débit pendant l'exploitation, le débit peut rester constant même pendant le nettoyage d'un filtre, sauf dans le cas des filtres à la prise pour lesquels un accroissement contrôlé du débit est nécessaire pour permettre le nettoyage à grande eau des matières solides.

**La répartition de l'eau brute sur le filtre** doit être homogène afin que l'écoulement soit uniforme dans le lit du filtre. Pour ce faire l'écoulement à la sortie de la conduite ou du canal devrait être régulièrement réparti sur toute la surface du filtre. Les lits de sable submergés, les déversoirs d'entrée couvrant toute la largeur du

filtre ou les murs perforés alimentant la section entière du filtre, sont des méthodes utilisées à cette fin. Pour éviter un affouillement du lit filtrant, l'énergie hydraulique de l'eau doit être dissipée par des brises charges placées dans la zone d'entrée. Pour la même raison, des dalles en béton ou de gros blocs devront être placés en surface du lit filtrant près des déversoirs.

**Le filtre proprement dit** consiste en une structure étanche contenant le matériau du filtre. La forme du bassin du filtre est normalement rectangulaire avec des parois verticales. Cependant, selon les techniques de construction locales, des bassins circulaires et des murs inclinés sont admissibles. Le gravier roulé du lit de la rivière ou les pierres cassées ayant des arrêtes sont souvent utilisés comme lit filtrant, bien que tout autre matériel inerte et insoluble, résistant aux forces mécaniques, et n'interférant pas avec la qualité de l'eau, en ce qui concerne son odeur et sa couleur, puisse servir aussi comme matériau filtrant.

**La collecte de l'eau traitée** doit aussi être uniforme sur l'ensemble du lit du filtre. Un drainage inégal de l'eau filtrée réduirait l'efficacité globale du filtre et créerait des courts-circuits hydrauliques indésirables. Pour les filtres à flux ascendant, une nappe d'eau libre au-dessus du lit du filtre est la meilleure option pour réaliser une collecte régulière de l'eau traitée. Dans le cas des filtres à flux descendant, la construction d'un faux fond de filtre (voir Fig. 47) peut jouer le même rôle. Une seconde option pour ces filtres, mais moins favorable, est l'installation de tuyaux perforés. Pour les filtres à flux horizontal, la construction d'une paroi perforée dans la chambre de sortie est nécessaire pour un drainage régulier de l'eau traitée.

**Le réglage du débit de sortie** évite un séchage du lit du filtre. Le nettoyage hydraulique d'un préfiltre à gravier desséché contenant des matières solides accumulées est une tâche très difficile, voire impossible. Par conséquent, les préfiltres à gravier doivent être exploités dans des conditions de saturation. Un déversoir ou une conduite d'effluent sur-élevée et à surface libre maintient l'eau au-dessus du niveau du lit. De plus, un déversoir en V permettrait la mesure du débit à la sortie du filtre.

**Le système de drainage** des préfiltres à gravier a deux rôles: il est utilisé pour le nettoyage hydraulique du filtre et il permet le drainage complet pendant les travaux de maintenance et de réparation. Le nettoyage hydraulique du lit du filtre fait appel à des débits d'eau importants et, nécessite par conséquent des conduites de gros diamètres. Pour l'évacuation complète de l'eau, des

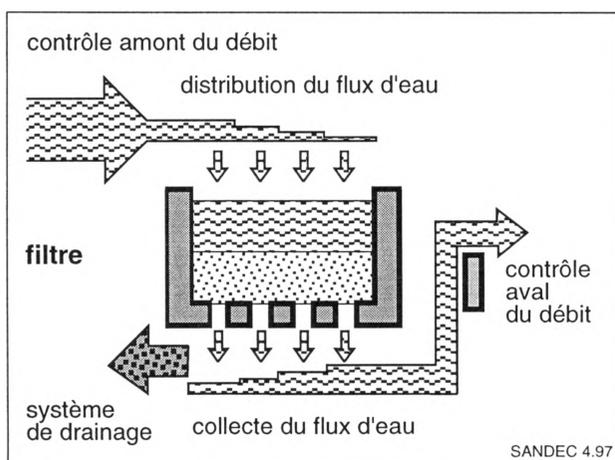


Fig. 25 Principales caractéristiques d'un filtre

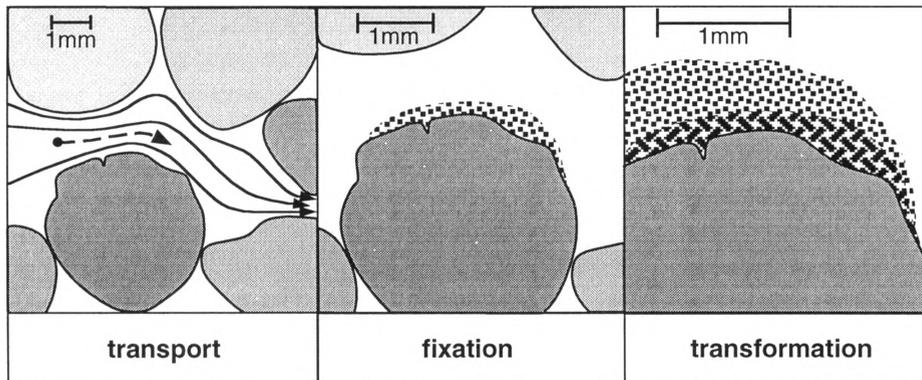


Fig. 26

Mécanismes de séparation des matières solides dans les préfiltres à gravier

drains supplémentaires mais plus petits peuvent être installés dans les compartiments d'entrée et de sortie.

## 9.2 La théorie de base de la filtration

Les explications suivantes visent à fournir quelques informations sur les mécanismes de la filtration et à élucider le procédé plus en détail. **L'élimination des suspensions de matières solides par les préfiltres à gravier est un procédé plutôt complexe** comprenant la sédimentation, l'adsorption et les activités biologiques et biochimiques. Comme illustré dans la Fig. 26, les particules solides avant d'être transformées si possible par des procédés biologiques ou biochimiques, doivent obligatoirement être transportées à la surface et y demeurer fixées. Ces processus sont également importants pour l'élimination des impuretés dissoutes.

*«Suivons maintenant la trajectoire d'une petite particule d'argile de 4 µm (0,004 mm) à travers un préfiltre à gravier. Prière de noter que le trajet ci-après décrit de notre particule d'argile à travers le filtre n'est pas une histoire de science-fiction mais la description en langage courant des mécanismes d'élimination se produisant dans les préfiltres à gravier. L'annexe 4 fournit des détails analytiques supplémentaires sur les procédés scientifiques décrits dans le chapitre X. La petite particule d'argile subit divers mécanismes de transport, de fixation et de transformation. [38]»*

### Les mécanismes de transport

**Le tamisage** élimine les particules plus grosses que les pores du lit du filtre. Les dimensions des plus petites pores sont approximativement un sixième de la taille d'un gravier.

*«Etant donné que notre particule d'argile voyage sans dérangement à travers les larges pores des graviers grossiers,*

*moyens et même fins, comme indiqué dans la Fig. 27, elle ne sera jamais retenue par les mécanismes de tamisage.»*

**La sédimentation** sépare les matières solides décan- tables par gravité. La vitesse de décantation est fonction de la densité, la taille et la forme de la particule, ainsi que la viscosité et les conditions hydrauliques de l'eau.

*«Posons l'hypothèse que notre particule d'argile a atteint la fraction de gravier plus fin de notre préfiltre à gravier exploité à une vitesse de filtration de 0,5 m/h. Même à cette vitesse réduite, le temps de trajet à travers un pore de 4 mm de long et de 1,25 mm de hauteur est de 10 secondes seulement, alors que la vitesse de décantation de la particule d'argile atteint 0,01 mm/s. On constate que notre particule d'argile aura besoin de 125 secondes pour traverser seulement la moitié de la hauteur du pore et donc ne touchera guère la surface du grain de gravier, mais continuera de s'enfoncer plus profondément dans le lit du filtre, comme indiqué dans la Fig. 28.»*

**L'interception** est décrite comme étant le processus qui améliore l'élimination des particules par une réduction graduelle de la taille des pores, grâce à l'accumulation des matériaux.

*«Notre particule d'argile flottante veut se poser sur le matériau du filtre et fait appel désespérément à ses amies reposant sur le gravier. Elle sait que des centaines de millions de collègues sont déjà entrées dans le préfiltre avant qu'elle n'ait commencé son trajet désespérant, et que la charge du filtre (le poids des matières solides accumulées par unité de volume du filtre) ait atteint une valeur de 5 g/l. Elle sait aussi que si ses collègues, les particules d'argile déjà au repos, étaient coincées comme des sardines, la porosité initiale de 35 % du lit du filtre ne peut être réduite que de 0,25 %. Heureusement, elles s'entassent en forme de pyramide sur les grains de gravier accroissant ainsi le volume occupé du filtre par 10. Comme illustré sur la Fig. 29, elle peuvent ainsi réduire la porosité de 2,5 %. Cependant, les collègues lui manquent, à notre particule d'argile désespérée, puisque la distance de décantation est encore trop grande.»*

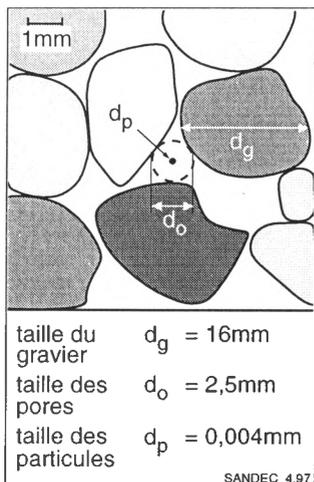


Fig. 27  
Tamisage

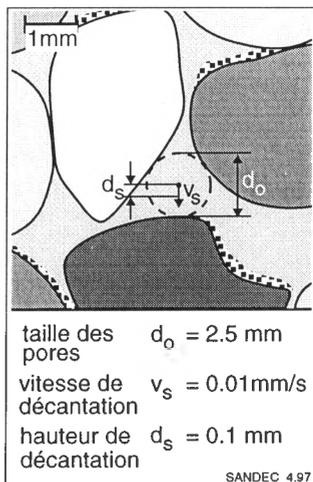


Fig. 28  
Sédimentation

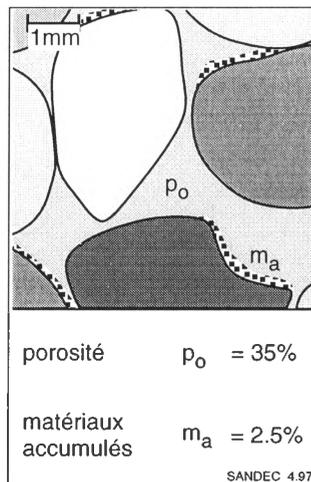


Fig. 29  
Interception

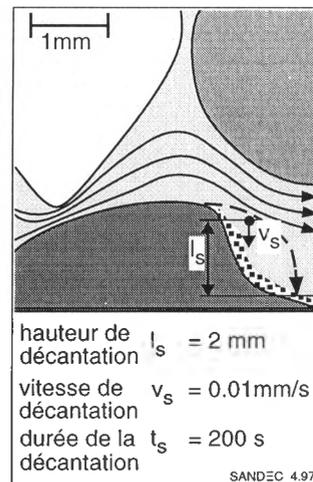


Fig. 30  
Forces hydrodynamiques

**Les forces hydrodynamiques** sont responsables de l'écoulement continu de l'eau à travers les pores. L'eau doit contourner chaque grain de gravier sur son chemin à travers le filtre. Par conséquent, les lignes de courant ne sont pas droites, mais courbées autour des grains de gravier. L'eau doit même changer sa vitesse d'écoulement, quand des contraintes nécessitent des accélérations du flux, ou quand les grands volumes des pores forcent même l'eau à observer un petit repos.

«Comme illustré dans la Fig. 30, notre vieille particule d'argile est aussi exposée à ce modèle d'écoulement aux forces de cisaillement hydrauliques qui la conduisent sur un parcours tordu. Elle est projetée hors de la voie par ces forces hydrodynamiques qui la conduisent dans un compartiment du filtre à l'eau stagnante où elle a le temps de se déposer et de rejoindre ses collègues dans l'attente.»

«Notre particule d'argile devrait donc être reconnaissante au processus d'écoulement et aux forces de cisaillement hydrauliques qui l'ont transportée près des grains du filtre où dans une zone tranquille où elle a pu se déposer sur les matériaux du filtre. Sur son chemin à travers le filtre, elle a remarqué que de toutes petites particules connues comme des colloïdes ont légèrement changé leur direction par apport à l'ensemble des matières solides et se sont répandues, à cause des forces moléculaires (le mouvement Brownien), dans d'autres directions. Cependant, ces forces ne l'ont nullement affectée.»

### Les mécanismes de fixation

«Notre particule d'argile, heureuse d'avoir échappé à l'écoulement est toujours exposée au courant d'eau qui essaie de l'entraîner. Dans cette situation délicate, la particule d'ar-

gile peut compter sur l'aide de ses collègues et sur le soutien de la surface du grain.»

**L'attraction de masse et la force électro-statique** - la combinaison de ces deux forces est fréquemment appelée adsorption; elle permet aux particules de rester en contact avec d'autres matières solides et avec les matériaux du filtre. L'attraction des particules en masse (la force de Van der Waals) et l'attraction entre les particules de charges électriques opposées (les forces électrostatiques) décroissent à mesure que la distance entre les particules s'accroît. Dans les préfiltres à gravier, ces forces sont importantes seulement pour maintenir les particules décantées ensemble sur la surface du grain.

**L'activité biologique** se développera dans le filtre lorsque les particules d'origine organique sont déposées sur les matériaux du filtre. Les bactéries et autres micro-organismes formeront une couche collante et visqueuse autour du gravier ou construiront une grande chaîne de matériaux organiques flottant dans les pores du filtre.

«Ce microcosme biologique est vivant. La forêt de microbes est habitée par des monstres sous formes de larves et de plus petits micro-organismes tels que les bactéries. La forêt est soumise à des changements constants, les micro-habitants sont mangés par les macro-résidents, au point où la prédiction de leur schéma de comportement est rendue presque impossible. Les particules adhèrent aisément à ce matériau organique et sont retenues dans le filtre.»

**L'attraction électro-statique et de masse, ainsi que l'activité biologique** permettent à notre particule d'argile de demeurer sur le matériau déposé.

### Les mécanismes de transformation

*«Au fil du temps, de nouvelles particules se déposent au-dessus de notre petite particule d'argile et la transforme lentement en une structure ferme de matériaux accumulés. Cependant, elle n'est plus seule avec ses collègues particules d'argile, car d'autres matières d'origine organique ont commencé à envahir la structure en pyramide. Elle remarque aussi le changement dans la qualité de l'eau qui l'entoure, puisqu'elle n'est plus exposée à l'eau fraîche coulant à la surface des matières accumulées.»*

L'oxydation biochimique commence à convertir les matières organiques en plus petit agrégats puis finalement en eau, en dioxyde de carbone et sels inorganiques. Une partie de la matière dissoute est également soumise à ces réactions chimiques et biochimiques. La turbidité et la couleur subissent aussi des changements, alors que les traces de fer et de manganèse sont précipitées et éliminées.

*«L'activité micro-biologique joue également un rôle important dans les préfiltres à gravier. Le dos de notre particule d'argile commence à lui démanger et elle se rend compte que trois minuscules micro-organismes se sont fixés à sa surface. Elle se rappelle alors que des coliformes fécaux, fatigués de nager, lui avaient demandé de les transporter avant d'entrer dans le filtre. Elle avait accepté de le faire et elles avaient alors commencé leur trajet à travers le filtre, comme des boat-people, sur son dos. Ils sont restés ensemble lorsque la particule s'est déposée sur le matériau du filtre. Mais avec le temps, ces coliformes fécaux commençaient à s'affamer et étaient attaquées par d'autres micro-organismes. C'était leur dernière convulsion avant de s'éteindre qui a dérangé notre amie, la particule argileuse.»*

C'est pourquoi, **les préfiltres à gravier biologiquement actifs ne sont pas seulement efficaces dans l'élimination des matières solides mais aussi dans l'amélioration de manière significative de la qualité chimique et micro-biologique de l'eau.**

#### La «théorie des Filtres 1/3 - 2/3»

*«Notre vieille particule d'argile ne se sent toujours pas à l'aise même après la mort des trois coliformes fécaux, car elle était incrustée dans un gros dépôt d'argile. La conversation avec ses collègues devint ennuyeuse et elle commença à réfléchir sur la manière de changer sa situation présente peu agréable. Elle se rappela avoir vu des camarades particules argileuses assises joyeusement sur les plus gros grains alors quelle devait voyager à travers le filtre, inconfortable et coincée. Grâce à son esprit alerte, elle développa la «théorie du filtre 1/3 - 2/3.»*

*«Elle savait par expérience qu'une particule peut contourner un grain de gravier soit du côté gauche ou du côté droit,*

*ou s'installer dessus. Aussi, la chance de tomber sur le grain est de 1/3. Cependant, le jeu se poursuit puisqu'il existe un second, un troisième, voire beaucoup d'autres grains de gravier pour se déposer dessus. A ce point, notre particule d'argile commença à faire des calculs. Elle posa l'hypothèse que si environ 300 particules d'argile pénétraient dans le filtre, 100 particules d'argile se déposeraient sur la première couche de grains et 200 particules d'argile continueraient leur trajet pour atteindre la seconde couche de grains. Là encore, 1/3 ou 67 particules s'attacheraient à la seconde ligne, et 2/3 ou 133 particules demeureront dans le cours d'eau. La ligne suivante de particules se répartira en 44 à 89 particules. Elle poursuivit son calcul mental et fut heureuse de savoir que quelqu'un notait tout cela en Annexe 4.»*

*«Fière d'elle-même, la particule d'argile évalua son calcul et parvint à la conclusion que 90% des 300 particules ayant pénétré dans le filtre sont éliminés déjà après la 5<sup>e</sup> ou la 6<sup>e</sup> couche de gravier. Les 10% restants doivent poursuivre à travers cinq à six couches de gravier supplémentaires pour réaliser une séparation de particules à 99%. Aussi, en comparaison à une efficacité de 1,5% seulement par couche dans la seconde section du filtre, la première partie du filtre est apparemment plus efficace dans l'élimination des particules, étant donné que chaque couche du filtre ici retient environ 16% des particules. Les sections suivantes du filtre sont évidemment moins efficaces dans l'élimination des particules. Cependant, notre particule d'argile trouva difficile de croire qu'un grain de gravier dans la partie profonde du filtre, ayant exactement la même taille et la même forme qu'un grain de gravier situé à l'entrée du filtre, soit moins efficace dans l'élimination des particules. Elle se rappela alors que l'efficacité du filtre dépend de la concentration de particules: plus la concentration d'impuretés est élevée, plus grande est l'efficacité apparente.»*

*«Néanmoins, la particule d'argile n'était pas encore satisfaite de sa théorie de filtration, puisqu'elle signifie que le nombre de particules trouvées sur le gravier diminuera continuellement pendant son trajet à travers le filtre. C'est alors qu'elle se souvient avoir rencontré une augmentation soudaine de particules déposées à des points spécifiques du filtre. Elle conclut rapidement que ces endroits correspondaient aux changements dans les couches de gravier. De plus, elle se rappela que ces camarades particules d'argile plus fines ne suivaient pas le même modèle de décantation; c'est-à-dire qu'elles pénétraient plus profondément dans le préfiltre. Et enfin, elle avait le sentiment que les conditions de sédimentation n'étaient pas toujours les mêmes. Il y avait une foule à l'entrée du filtre et c'était difficile de trouver un espace libre pour se reposer. Alors que la partie intérieure du filtre offrait plus d'espace, et la décantation était même facilitée par la couche collante à la surface du gravier. Aussi, l'efficacité du filtre dépend non seulement de la taille du matériau filtrant, et des particules, mais aussi de la charge réelle du filtre et de l'activité biologique du filtre.»*

«Notre particule d'argile était satisfaite de voir que sa théorie du filtre et ses conclusions étaient approuvées par quelques chercheurs menant des tests sur la filtration. Leurs résultats et les corrélations développées entre les différents paramètres de préfiltration horizontale sont résumés en Annexe 4. Cependant, par rapport à sa propre expérience et à ses réflexions, notre petite experte en filtration était convaincue que cette théorie du filtre est fondamentalement valable pour les préfiltres à gravier à flux ascendants et descendants. Des forces hydrodynamiques sont toujours présentes dans tous les préfiltres à gravier où les conditions de calme permettent la décantation des particules. Néanmoins, elle était frustrée que sa «théorie du filtre de 1/3 - 2/3» n'ait pas correspondu avec les résultats des tests. Les rendements de filtre enregistrés sont beaucoup plus faibles que ceux des nombreuses lignes de courant contournant les grains de gravier.»

### La libération soudaine

«Notre particule d'argile perplexe devint consciente de la détérioration de son milieu alors qu'elle réfléchissait sur la filtration. Ensemble avec ses collègues, elle était entassée dans une structure faite de matières organiques en décomposition et de micro-organismes affamés. L'eau autour d'elles sentait également mauvais. Cependant, ce liquide se mélangeait à peine avec l'eau qui coulait doucement à débit constant, en écoulement laminaire. La particule d'argile avait un besoin urgent de plonger dans cette eau fraîche, ou même nager à la dérive...»

«Soudain, il n'y a plus de calme. Le filtre était rempli de vacarme pire que dans un grand tremblement de terre. L'eau s'enfonçait à travers le gravier jusqu'au fond du filtre, et toutes les particules d'argile se tenaient anxieusement, l'une contre l'autre. Une partie de sa structure fut emportée. Notre particule terrifiée vit alors un bloc de particules rouler comme une avalanche. Les forces d'entraînement devinrent plus puissantes, sa structure s'écroula et alors, tout alla très vite. Dans les conditions très turbulentes, elle fut emportée au fond du filtre, pressée à travers une conduite où une vanne a failli lui casser le cou, et fut finalement précipitée dans une lagune. Notre vieille amie obtint la liberté et se sentit comme une nouvelle née. Cependant, elle n'était pas habituée à cette clarté du soleil et décida de s'installer au fond encore, mais cette fois-ci dans des conditions différentes.»

«Note de conclusion: étant donné que les mécanismes complexes du nettoyage hydraulique du filtre ne sont pas encore pleinement explorés, notre particule d'argile n'avait pas de temps pour davantage de contemplation philosophique sur ce sujet. C'est là que notre excursion à travers la théorie de base du filtre s'arrête.»

## 9.3 Les variables et les valeurs guides de dimensionnement

Le principal objectif des préfiltres à gravier est la réduction des matières solides de l'eau brute à partir d'une concentration spécifique, inconnue cependant dans plusieurs cas, à un niveau permettant une bonne exploitation du filtre lent à sable. Une valeur de turbidité d'environ 10 à 20 NTU, ou une concentration de matières solides en suspension de 2 à 5 mg/l, est généralement considérée comme une norme adéquate de l'eau prétraitée. De plus, étant donné que les préfiltres à gravier doivent traiter un certain volume d'eau par jour, une période d'exploitation raisonnable est nécessaire entre deux nettoyages du filtre. D'une manière explicite, les préfiltres à gravier doivent remplir les **trois objectifs suivants**:

- **réduire la turbidité et la concentration de matières solides en suspension de  $\Delta C$  (mg/l) à un niveau acceptable, pour une exploitation adéquate du filtre lent à sable.**
- **fournir un débit quotidien spécifique  $Q$  (m<sup>3</sup>/j)**
- **permettre une exploitation adéquate pendant une période déterminée  $T_r$  de fonctionnement du filtre (jours ou semaines).**

La conception du filtre doit atteindre ces buts visés. Elle est définie par les **six variables de conception** suivantes qui peuvent être sélectionnées dans une certaine plage:

- **Vitesse de filtration  $V_f$  (m/h)**
- **Taille moyenne  $d_g$  (mm) de chaque matière filtrante**
- **Longueur  $l_i$  de chaque matière filtrante**
- **Nombre  $n_i$  de couches du filtre**
- **Hauteur  $H$  (m) et largeur  $W$  (m) de la superficie du lit du filtre  $A$  (m<sup>2</sup>)**

**La vitesse de filtration  $V_f$  se situe généralement entre 0,3 et 1 m/h.** Les filtres sont occasionnellement exploités à une vitesse de filtration allant jusqu'à 1,5 voire 2 m/h ou même 9 m/h, comme dans les filtres à la prise et les filtres dynamiques. La vitesse de filtration influence de manière significative la performance du filtre, quoique le rendement ne semble pas beaucoup affectée pour une vitesse de filtration entre 0,3

et 0,6 m/h [48]. La vitesse de filtration, exprimée en (m/h), est définie comme étant la charge hydraulique (m<sup>3</sup>/h) appliquée au m<sup>2</sup> du lit du filtre perpendiculaire à la direction de l'écoulement.

**La taille dg, du matériau du filtre varie généralement entre 20 et 4 mm.** Un gravier de taille plutôt uniforme offre une plus grande porosité. Le coefficient d'uniformité U, défini ici comme étant le quotient entre la plus grande et la plus petite taille d'une couche de filtre ( $U = dg_{i,max} / dg_{i,min}$ ), devrait être de l'ordre de 2 au plus. Les couches de matériau filtrant, comme énuméré dans le Tableau 3, devraient satisfaire à l'uniformité recommandée.

**Puisque la longueur L<sub>i</sub> du filtre dépend du type de filtre, elle peut varier énormément.** Les filtres dynamiques et les filtres à la prise, agissant comme des filtres de surface, nécessitent une profondeur plus petite (environ 40 - 60 cm) en comparaison avec les préfiltres à gravier exploités comme des filtres au lit profond. La profondeur des préfiltres à gravier à flux ascendants ou descendants est limitée par des contraintes de structure; elle est généralement de 80 à 120 cm. La longueur des préfiltres à gravier à flux horizontal est, à cet égard, non limitée. Cependant, la longueur totale s'étend normalement entre 5 et 7 m.

**Le nombre n<sub>i</sub> de couches du filtre dépend aussi du type de filtre.** Les filtres de surface sont conçus pour une seule couche tandis que les préfiltres à gravier sont généralement composés de trois couches de gravier. L'utilisation de couches de filtre de qualités et taille uniforme, telles qu'il est illustré dans la Fig. 31 peut réduire substantiellement la longueur globale du filtre. La masse de matières solides est éliminée par la fraction grossière du filtre; le gravier de taille moyenne a un effet de finition et le gravier le plus fin doit éliminer seulement les traces restantes de matières solides. Par conséquent, les longueurs L<sub>i</sub> des couches de matériau d'un préfiltre à gravier sont souvent dimensionnées dans le rapport 3:2:1.

**La hauteur H (m) et la largeur W (m) dépendent des aspects structurels et d'exploitation.** Les structures peu profondes, d'environ 1 à 2 m, sont recommandées pour éviter des problèmes relatifs à l'étroitesse. En vue d'un éventuel nettoyage manuel du filtre, des structures de 1 m de profondeur sont même recommandées pour une évacuation facile du matériau du filtre. La largeur des filtres doit également être limitée pour permettre un nettoyage hydraulique efficace et éviter les problèmes d'évacuation des eaux de lavage. Par conséquent, la largeur du lit du filtre ne devrait pas dépasser 4 à 5 m, et **la surface A du filtre est limitée à 25 à 30 m<sup>2</sup> pour les filtres à flux vertical et à 4 à 5 m<sup>2</sup> (de section) pour les préfiltres à gravier à flux horizontal.** Etant donné que ces tailles maximum recommandées limitent la capacité hydraulique du filtre, plusieurs unités de filtres, exploitées en parallèle, sont requises pour satisfaire les besoins en eau. La construction d'au moins deux unités de filtres parallèles est de toute façon conseillée, pour permettre une exploitation continue de l'installation de traitement même pendant les périodes de grands travaux de maintenance et de réparation.

## 9.4 Contrôle du débit et de la perte de charge

**Les conditions hydrauliques dans le préfiltre à gravier sont déterminées par la vitesse de filtration V<sub>F</sub>(m/h) calculée en divisant le débit Q (m<sup>3</sup>/h) par la coupe transversale active de la surface du filtre A (m<sup>2</sup>), soit:**

$$V_F \text{ (m/h)} = Q \text{ (m}^3\text{/h)} / A \text{ (m}^2\text{)}$$

Pour une performance adéquate du filtre, **le contrôle de débit est essentiel et doit permettre les conditions suivantes:**

- **Limitier le débit maximum** à travers la station de traitement en général et les unités du filtre en particulier.

Matériaux filtrants Caractéristiques	Taille des matériaux filtrants dg [mm]		
	1 <sup>ère</sup> couche	2 <sup>ème</sup> couche	3 <sup>ème</sup> couche
filtre grossier	24 - 16	12 - 18	8 - 12
<b>filtre normal</b>	<b>12 - 18</b>	<b>8 - 12</b>	<b>4 - 8</b>
filtre fin	8 - 12	4 - 8	2 - 4

Tableau 3 Tailles des couches de graviers pour les préfiltres à gravier

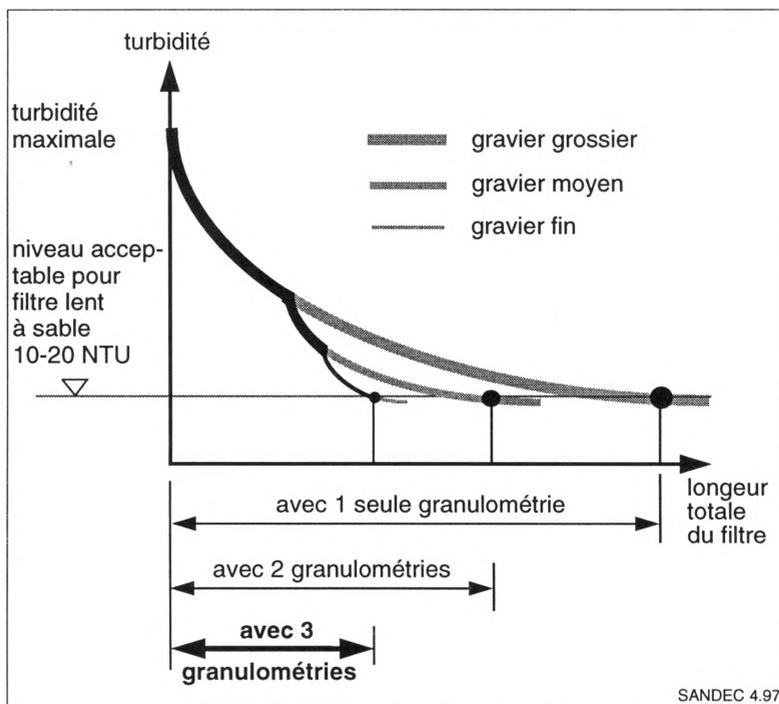


Fig. 31 Réduction de la turbidité à travers un préfiltre à gravier

- **Repartir le débit total** uniformément sur les unités du filtre exploitées en parallèle.
- **Maintenir les niveaux d'eau souhaités** dans les unités du filtre.

Les déversoirs, les conduites de trop-plein et les vannes sont utilisés pour contrôler le débit à travers la station de traitement et les différentes unités du filtre. Le débit maximum de traitement est limité par un déversoir généralement situé à l'entrée. Dans la station, le débit est divisé équitablement par une chambre de répartition ou un canal, dans les différentes unités du filtre. **Le plus simple mécanisme de contrôle de débit est un déversoir en forme de V.** Enfin, le débit maximum dans l'unité du filtre est limité par un trop-plein situé en amont du déversoir en V.

Dans les préfiltres à gravier le niveau d'eau est contrôlé par un déversoir qui est reliée à d'autres conduites adjacentes, ne permet pas les mesures de débit nécessaires pour détecter les fuites éventuelles dans la structure du filtre.

La résistance du filtre augmente avec l'exploitation progressive du filtre. La perte de charge finale dans un préfiltre à gravier est habituellement faible; environ 10 à 20 cm ou 30 cm au plus. **La variation de la perte de charge dans le filtre peut être suivie par la variation du niveau d'eau dans le compartiment d'entrée du filtre.** Une présentation générale d'un filtre avec con-

trôle de débit à l'entrée est illustrée en Fig. 32. Davantage de détails sur les mesures des débits sont présentés en Annexe 2.

**Un niveau d'eau variable du côté de l'effluent** est réalisé avec l'installation d'une vanne manuelle, un déversoir flottant auto-régulant ou un mécanisme à débit constant tel que suggéré en [49]. Cependant, pour des pertes de charge finales relativement petites comme c'est le cas des préfiltres à gravier à flux horizontal, l'utilisation d'un niveau variable d'effluent **n'est pas recommandée.**

La Fig. 33 montre les principaux détails sur **les instruments auto-régulateurs de débit.** De telles instruments sont utiles pour maintenir un débit constant à travers les stations de traitement dans les installations à pompage, particulièrement la nuit, pourvu qu'un réservoir d'équilibrage soit installé pour le ravitaillement continu en eau brute.

## 9.5 Système de vidange du filtre

Une accumulation de matières solides dans le matériau filtrant diminue la porosité et enfin l'efficacité du filtre, tandis qu'elle accroît sa résistance. Pour maintenir une performance adéquate du filtre et limiter sa perte de charge, **l'évacuation périodique des matières solides accumulées dans le matériau filtrant est nécessaire.**

Les préfiltres à gravier sont nettoyés soit manuellement soit par moyen hydraulique. Le nettoyage manuel d'un filtre (excavation, lavage et remplissage du matériau filtrant) est un travail fastidieux qui nécessite beaucoup de main-d'oeuvre. Ainsi, **le nettoyage hydraulique du filtre joue un rôle clé dans l'exploitation efficace et à long terme du préfiltre à gravier.**

Le nettoyage hydraulique du filtre entraîne une évacuation rapide des matières solides accumulées. Ces matières accumulées sont refoulées à grande eau vers le fond du filtre, drainées jusqu'au système de vidange et évacuées hors du filtre. Ce qui suit sont des **variables importantes de conception pour le nettoyage hydraulique du filtre:**

- **vitesse de vidange du filtre  $V_d$  (m/h)**

- **Superficie à l'entrée  $A_d$  ( $m^2$ ) du système de drainage**
- **distance horizontale  $L_d$  (m) entre les drains ou les ouvertures au fond du filtre**
- **volume d'eau de lavage  $V_w$  ( $m^3$ )**
- **fréquence de lavage  $1/T_r$ , ou période d'exploitation du filtre  $T_r$ .**

La vitesse de vidange du filtre est identique à la vitesse de baisse du niveau d'eau dans le filtre. **Une grande vitesse initiale de vidange de filtre  $V_d$  est recommandée pour un nettoyage efficace.** Les conditions de flux turbulent sont essentielles pour la remise en suspension et le transport des matières solides accumulées dans tout le filtre. Ainsi une vitesse minimum de vidange de 30 m/h et de préférence 60 - 90 m/h, est requise pour un nettoyage hydraulique efficace.

La vitesse de vidange est fonction de la surface transversale disponible pour l'écoulement de l'eau de lavage. La section des conduites de vidange constitue un goulot d'étranglement; **l'autre facteur limitant est la superficie globale à l'entrée ( $A_d$ ) du système de vidange qui devrait être conçue aussi large que possible.** Des systèmes de faux fond de filtre perforé fournissent une plus large superficie dans la zone d'entrée que le système de tuyau de vidange perforé.

Une fois refoulée au fond du filtre par l'eau, les matières solides en suspension sont transportées jusqu'à l'entrée du système de vidange. **La distance horizontale  $L_d$  entre deux tuyaux de vidange perforés, consécutifs devrait être aussi faible que possible** pour éviter une accumulation graduelle du limon au fond du filtre. Ici encore, l'installation d'un faux radier de filtre est recommandée, puisque l'eau de lavage peut être collectée de façon plus uniforme que par le système perforé de vidange. Pour ce dernier la distance horizontale  $L_d$ , entre les drains ne doit pas dépasser un maximum de 1 - 2 m.

**Le nettoyage hydraulique du filtre est effectué avec un volume d'eau de lavage  $V_w$  stocké dans le préfiltre à gravier.** Le fonctionnement normal du filtre est interrompu et les drains ouverts. D'où, comparés aux filtres rapides à sable, le nettoyage hydraulique du préfiltre à gravier ne nécessite pas un équipement supplémentaire, telles les pompes de lavage à contre courants ou même les compresseurs d'air. Pour prévenir des pertes et pour mieux utiliser l'eau de lavage stockée dans le lit du filtre, **des vannes à ouverture rapi-**

**des sont nécessaires.** Puisque de tels mécanismes de diamètre relativement élevés (150 à 250 mm environ) reviennent plutôt chers, d'autres installations, telles que présentées dans la figure 34, ont été développées par des institutions locales. **Ces mécanismes doivent être de conception simple, solides et faciles à manipuler et en même temps étanches.** En outre, ils doivent être équipés d'un mécanisme de fermeture, pour économiser l'eau de lavage pendant la vidange. Les mécanismes fabriqués localement devraient subir des tests sur le terrain avec soin, avant leur utilisation dans des unités de filtre à grande échelle.

**La fréquence de nettoyage ou le temps d'exploitation  $T_r$  des préfiltres à gravier est fonction de la charge de matières solides et de l'activité biologique dans le filtre.** Puisque chaque filtre fonctionne dans des conditions locales spécifiques, il est difficile de donner des recommandations d'ordre générale. Néanmoins on peut conseiller un nettoyage hydraulique périodique pour éviter des accumulations graduelles de matières solides, qui risquent de s'agglomérer et se consolider dans le filtre, que la vidange ne peut plus éliminer. La fréquence des nettoyages peut atteindre une fois par semaine ou toutes les deux semaines pendant la saison des pluies et une fois par mois ou tous les deux mois pendant la saison sèche. Cependant, des charges très élevées de matières solides avec des turbidités > 1 000 NTU nécessitent un nettoyage quotidien à grande eau. En outre, les activités biologiques excessives peuvent gêner le nettoyage hydraulique efficace ou affecter le goût et l'odeur de l'eau. De telles conditions nécessitent aussi de nettoyages fréquentes. La recherche en laboratoire [11] avec des préfiltres à l'activité biologique avancée, suggère qu'une période de séchage aura un impact positif sur le nettoyage hydraulique du filtre, une observation en contradiction avec la recommandation générale de garder les préfiltres à gravier toujours humides.

**L'évacuation sûre de l'eau de lavage est importante.**

Le nettoyage à grande eau génère des volumes relativement importants d'eau (jusqu'à  $10 m^3$ ) en un temps court (environ 1 à 2 minutes). Pour éviter l'érosion dans les parties en pente, un stockage intermédiaire dans un petit bassin, peut s'avérer nécessaire. De telles installations permettraient une évacuation graduelle et contrôlée de l'eau de lavage dans un cours d'eau ou à des fins agricoles. En outre, les matières solides éliminées du filtre et déposées dans le bassin est une source riche de matière fertilisant et stabilisant pour le sol.

Certaines fois le système de drainage utilisé pour le nettoyage peut ne pas être conçu pour drainer la struc-

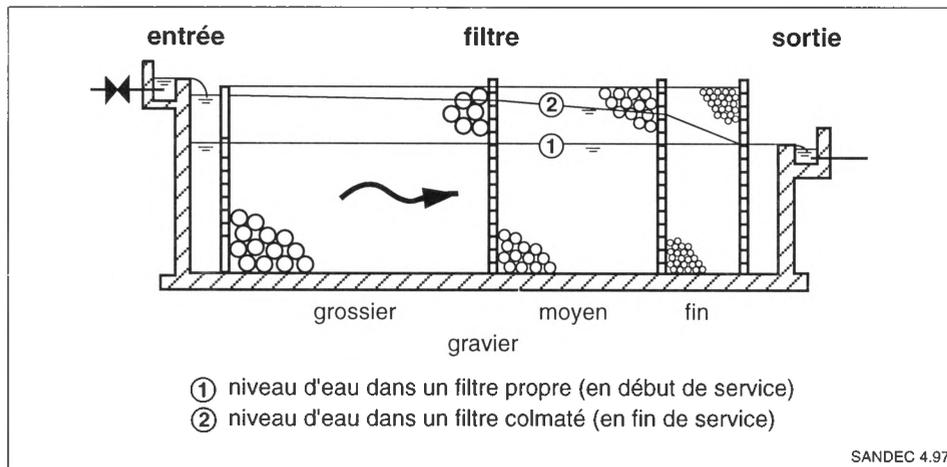


Fig. 32

Présentation d'un  
préfiltre à gravier avec  
contrôle de débit à  
l'entrée

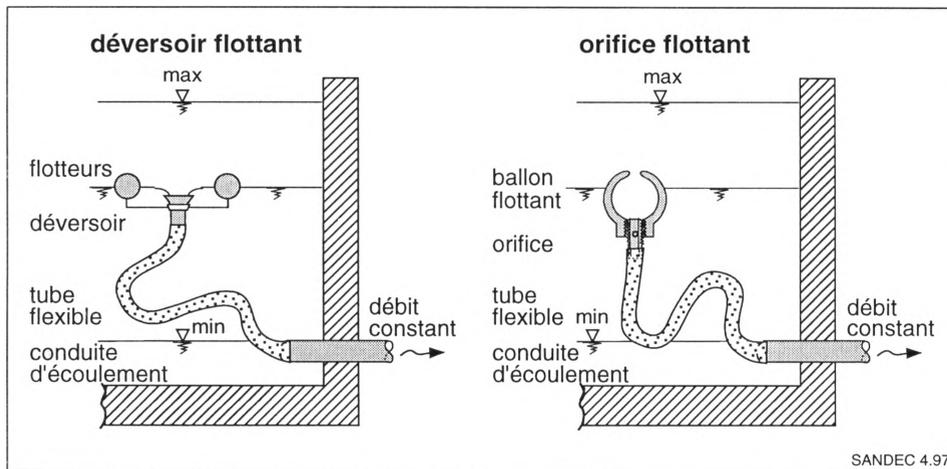


Fig. 33

Présentation des  
mécanismes de contrôle  
du débit

ture entière du filtre. Toutefois, un drainage complet est essentiel pendant la maintenance et la réparation du filtre. **Des installations supplémentaires de petite vidange sont aussi nécessaires pour achever d'évacuer l'eau stockée dans le filtre.** A cette fin, de petites conduites de vidange équipées de robinets ou de bouchons peuvent être utilisées dans les grands préfiltres à gravier. Pour les petits préfiltres, une vidange complète avec des seaux ou par un tube en siphon peut suffire.

## 9.6 Les aspects généraux de la conception

**Les structures de traitement doivent être dimensionnées en prévision des charges extrêmes;** à savoir, pour éliminer une concentration maximum de matières solides dans l'eau brute. C'est pourquoi, **il est préférable de prétraiter l'eau brute par un ouvrage différent du traitement.** Ce processus qui réalise une réduction graduelle des matières solides en suspension, de la turbidité ou des micro-organismes pathogènes, offre pro-

bablement l'option la plus économique, si l'on considère les coûts d'investissement et de fonctionnement. De petites unités de prétraitement tels les filtres à la prise ou les bassins de sédimentation peuvent réduire de manière significative les concentrations en matières solides ou les pointes de turbidité. En outre, le nettoyage de ces installations est plus facile généralement que pour les préfiltres à gravier. Compte tenu de cela, les préfiltres à gravier devraient être conçus de préférence pour traiter de l'eau pré-conditionnée, déjà soumise à un prétraitement plutôt que d'être soumis à des pics de turbidité d'eau.

**La longueur du filtre est fonction de la période de fonctionnement admissible.** Les préfiltres à gravier à flux horizontal en particulier ont été conçus au départ, pour fournir une grande capacité de stockage de particules puisque le nettoyage du filtre se faisait manuellement. Des longueurs relativement importantes de préfiltre de 9 à 12 m ont été réalisées. Pour ces longueurs on obtient un fonctionnement du préfiltre pendant plusieurs mois, comme pour les filtres lents à sable. Entre temps, on a découvert l'importance et les avantages d'un nettoyage hydraulique.

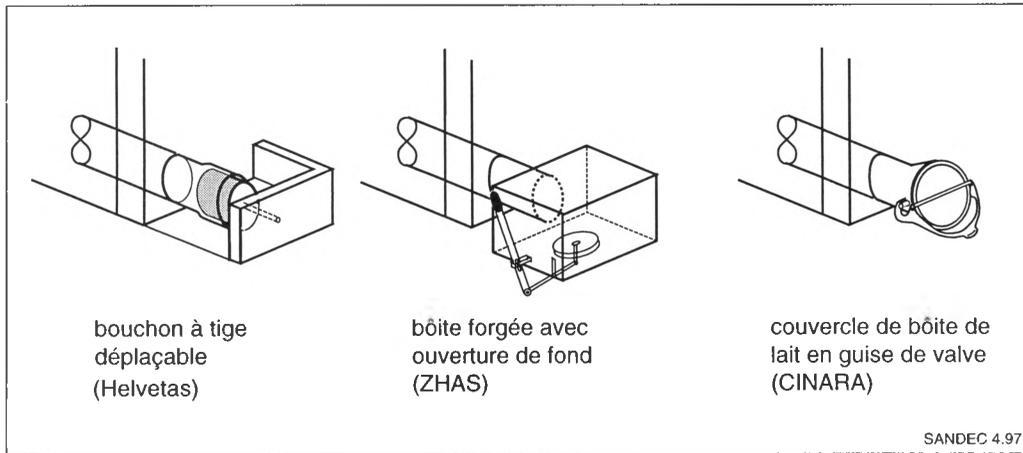


Fig. 34  
Présentation  
du mécanisme  
d'ouverture rapide  
pour le vidange  
du filtre

La pratique actuelle tend à diminuer la longueur du filtre tout en incorporant des structures de nettoyage hydraulique efficace. La régénération de l'efficacité du filtre par les nettoyages plus fréquents doit contre-balanter cette réduction en longueur.

L'utilisation de matériaux filtrant de petite taille peut améliorer le rendement d'un filtre. Par ailleurs, outre le rendement de séparation, d'autres critères tels que les pertes de charge finales, la durée d'exploitation du filtre et les aspects liés au nettoyage sont aussi à prendre en considération. Un matériau de filtre fin et uniforme permet un prétraitement suffisant de l'eau brute mais provoque de grandes pertes de charge, une durée de fonctionnement courte, et des difficultés au nettoyage. **La technologie du préfiltre à gravier requiert l'utilisation de matériaux de filtre grossiers de 20-4 mm de taille, classés en différentes couches.** Par ailleurs, l'utilisation de matériaux de filtre plus gros que 20 mm avec des rendements de séparation plus faibles n'est pas conseillée, car il faudra des filtres plus longs pour atteindre la même efficacité de traitement. De même, la taille minimale des matériaux du filtre ne devraient pas être en dessous de 4 mm, pour faciliter le nettoyage hydraulique du filtre. Ces recommandations ne sont pas applicables aux filtres à la prise et aux filtres dynamiques, car ils fonctionnent différemment. **Comme ces filtres sont en fait des filtres de surface, leur profondeur n'a pas de grande influ-**

ence sur l'efficacité globale. Par contre ces filtres exigent des matériaux filtrants de petite taille variant entre 2 et 8 mm.

La vitesse de filtration influence fortement l'efficacité du filtre. La sédimentation est le processus principal de séparation dans les préfiltres à gravier. Donc, ces préfiltres doivent fonctionner dans des conditions de débit laminaire pour atteindre les rendements adéquats de séparation des solides. Le Nombre de Reynolds décrits les conditions de l'écoulement. A une valeur en

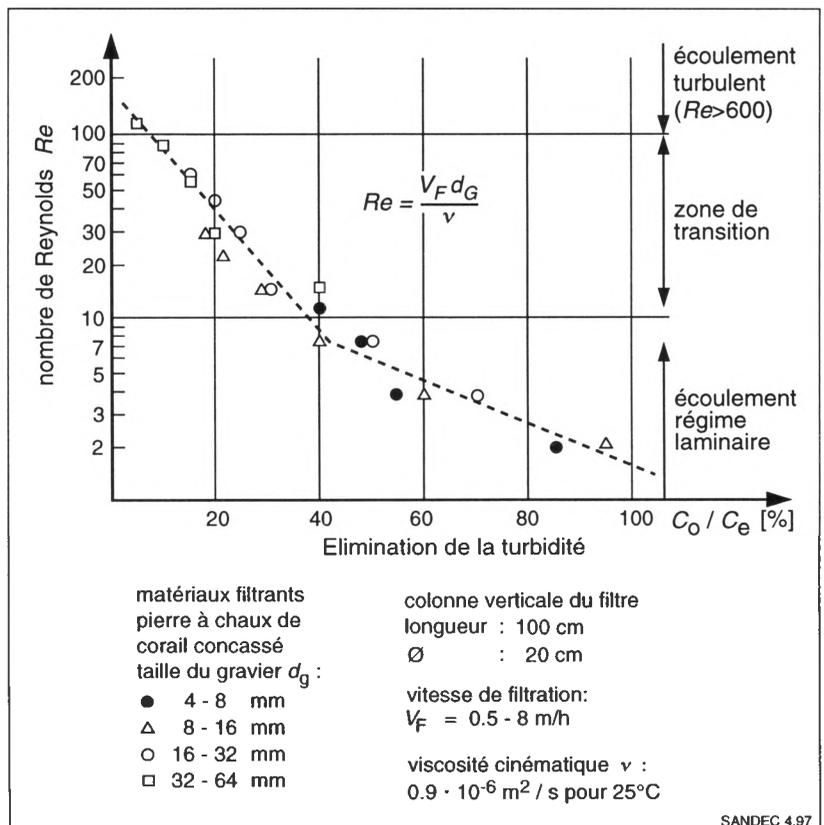


Fig. 35 Efficacité du préfiltre à gravier en corrélation avec les conditions de débit

dessous de 10, on peut s'attendre à un écoulement laminaire (voir aussi la Fig. 35). Comme le Nombre de Reynolds est directement proportionnel à la taille du matériau du filtre, la vitesse de filtration maximum acceptable pour des conditions de débit laminaire sera déterminée par la couche de plus gros gravier dans le préfiltre. Donc, **pour une utilisation optimale du filtre,**

**les matériaux de filtre grossiers nécessitent des petites vitesses de filtration.** L'utilisation d'un matériau de filtre plus petit, permet d'augmenter seulement en partie la vitesse de filtration car la répartition des tailles des particules de matières solides et la stabilité de la suspension influencent aussi le rendement de séparation des matières solides des filtres.

### ***L'abeille tueuse d'Afrique soutenait la durabilité***



*Les filtres rapides à sable de Salaga, un centre départemental situé en Afrique de l'Ouest, n'ont jamais été remplis du matériau filtrant et la population de la ville était donc exposée à de l'eau impropre à la consommation. L'ancienne station de traitement devait être agrandie et être remplacée par une station de traitement plus appropriée. Des préfiltres à gravier et des filtres lents à sable ont ainsi été testés dans une station pilote à l'ombre d'un grand baobab. L'emplacement avait été choisi par des experts étrangers souffrant du soleil de l'Afrique. La station pilote a été construite par le service local des eaux et les expa-*

*triés ont supervisé le début des tests sur le terrain. Cependant, l'abeille tueuse d'Afrique a choisi le même grand baobab comme habitat et était très attirée par la peau blanche des étrangers. Sous une supervision à distance des expatriés, les tests de terrain se sont poursuivis par le personnel local qui a acquis de l'expérience et la confiance en la station réseau de traitement qu'ils auront à gérer pleinement à l'avenir et sans assistance étrangère. Ainsi, les abeilles tueuses africaines ont contribué en quelque sorte à développer une durabilité locale.*



## 10. Conception détaillée des filtres

### 10.1 Les filtres à la prise

Les filtres à la prise sont couplés avec des infrastructures de prise d'eau et installés près des lits de petites rivières comme illustré dans la photo 5 et la figure 36. Les filtres à la prise sont souvent utilisés comme première unité de prétraitement dans un système de traitement d'eau. Un petit déversoir règle le niveau de l'eau de surface et canalise une partie du débit dans un compartiment de filtre adjacent. Ce compartiment est rempli de deux couches de gravier. La couche supérieure est constituée de un gravier relative-

ment fin, de moins de 6 mm de diamètre. La couche inférieure constituée de gravier plus grossier agit comme support de filtre et permet un drainage uniforme de l'eau préfiltrée à travers des tuyaux de vidange perforés. L'excédent est vidée par un déversoir de sortie dans la rivière. Les filtres à la prise sont construits le long des rivières et non directement dans le lit de ces derniers, si non les matériaux du filtre seront charriés par les eaux pendant les périodes de grandes crues. Une cloison entre le lit de la rivière et la chambre de filtre est recommandée pour empêcher le filtre d'être emporté par les eaux.

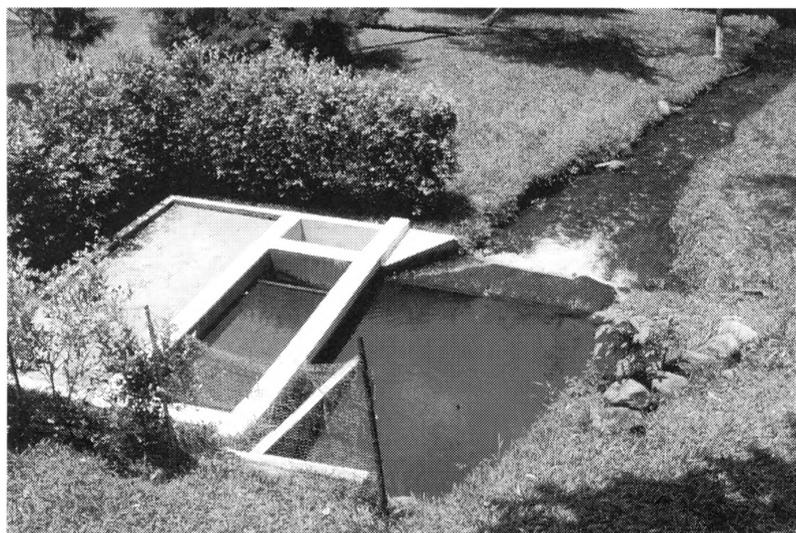
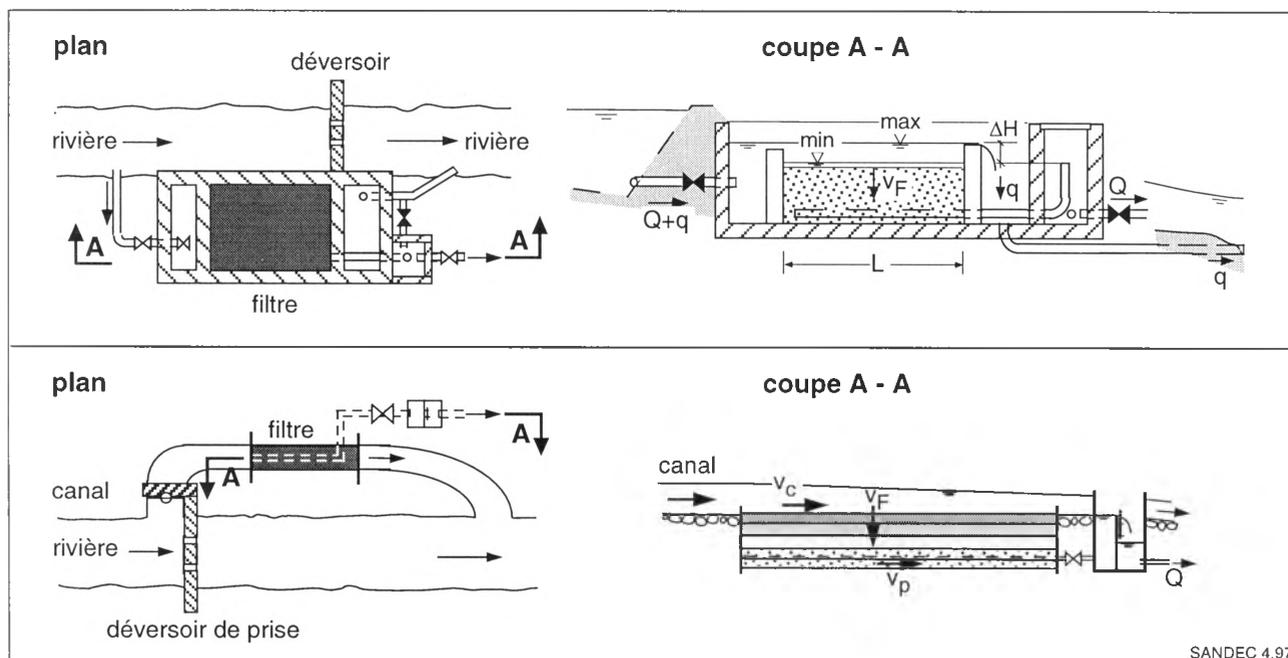


Photo 5

Exemple d'un filtre à la prise



SANDEC 4.97

Fig. 36 Présentation des filtres à la prise et des filtres dynamiques

**Les filtres à la prise peuvent aussi être installés dans le lit des petits canaux** Dans le cas des rivières des plateaux avec un lit abrupte et une topographie convenable il sera possible de construire un petit canal de déviation. Le lit de filtre, comprenant des couches de gravier différentes est installé sur une petite portion du canal. Une partie de l'eau du canal est filtrée à travers des couches de gravier en série allant du fin au grossier tandis que le reste de l'eau est restituée à la rivière. L'eau préfiltrée est alors récupérée par des tuyaux de vidange perforés, posés au fond de la couche de gravier grossier. Le débit est réglé par une vanne placée dans la chambre de contrôle du filtre. **La vitesse d'écoulement dans le canal est réglée** par les infrastructures de prise d'eau pour protéger le lit du filtre contre les grandes crues. La vitesse d'eau dans le canal ne doit pas dépasser 0,10 à 0,30 m/s pour éviter que d'une part les matières fines ne se déposent et ne restent sur le gravier, et d'autre part éviter que des matériaux fins du filtre soient emportés par les eaux. Ce système peut aussi s'appliquer aux canaux d'irrigation, pourvu qu'ils soient continuellement alimentés et réglés toute l'année. **Il est fortement recommandée de construire des filtres à la prise le long des rivières plutôt que dans les lits car ce dispositif permet un fonctionnement plus fiables.**

Enfin, **les filtres à la prise peuvent être réalisés directement sur le site de la station de traitement et**

fonctionner comme une structure de prétraitement. Cette disposition particulière est recommandée dans les réseaux d'alimentation en eau par gravité avec prise d'eau située dans une zone éloignée d'accès difficile - une telle conception facilitera le contrôle et un nettoyage régulier du filtre.

**Les vitesses de filtration de ces filtres vont de 0,3 et 2 m/h.** Cependant, des taux importants d'élimination de matières solides sont atteints seulement à des vitesses de filtre inférieures à 1 m/h. Le calcul des ouvrages hydrauliques devrait être basé sur une perte de charge maximale de 20 à 40 cm. Ces chiffres ne seront pas dépassés, si on observe un nettoyage régulier du filtre (par exemple: une fois par semaine).

**Des matériaux relativement petits, de moins de 6 mm, sont utilisés dans les filtres à la prise** qui agissent comme des filtres de surface, car les matières solides s'accumulent principalement au-dessus du lit. Lorsque des couches de gravier calibré de différentes tailles sont utilisées dans ces filtres, il y a risque de perturbation et mélange des différentes couches lors du nettoyage car celui-ci se fait manuellement. Une nappe de filtre est quelquefois placée entre les différentes couches de gravier pour éviter le mélange des couches. Ceci peut réduire la porosité générale et augmenter ainsi la perte de charge. Les gros graviers de ces filtres contribuent peu à l'élimination des matières solides

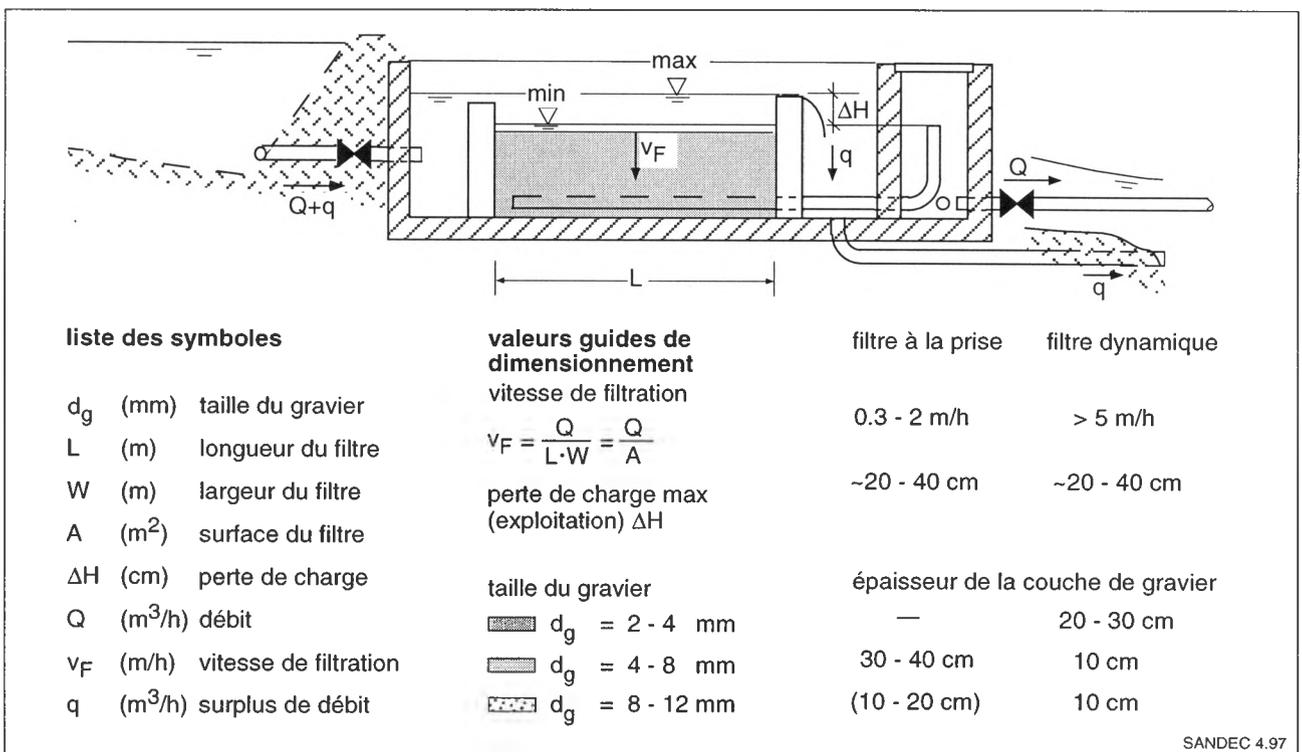


Fig. 37 Conception des filtres à la prise et des filtres dynamiques

mais permettent surtout le drainage de l'eau prétraitée de façon uniforme. Une bonne collecte de l'eau filtrée peut aussi être obtenue avec des filtres à une seule couche s'ils sont conçus avec des vitesses de filtration modérées, avec des ouvrages de taille moyenne et une disposition correcte des conduites perforées de vidange. Les données pour la conception sont présentées en Fig. 37. **En conséquence l'utilisation d'un filtre à une seule couche avec faux radier offre une alternative fiable aux filtres conventionnels;** car le mélange des couches n'est plus possible, et une collecte uniforme de l'eau préfiltrée est garantie.

## 10.2 Les filtres dynamiques

**Les filtres dynamiques protègent les unités de traitement contre les pointes de turbidité élevées.** Des eaux de surface de haute turbidité peuvent facilement colmater les filtres, en particulier les filtres lents à sable. Donc, pendant les périodes d'extrême turbidité, le débit peut être interrompu pour réduire les difficultés de nettoyage du filtre. La séparation des matières solides est d'importance secondaire dans les filtres dynamiques.

La performance des filtres dynamiques telle que définie par son adjectif est dynamique. La qualité de l'eau change à peine entre l'entrée du filtre et la sortie, pendant les périodes de basse turbidité de l'eau brute. Pendant les périodes de pointes de turbidité cependant, le changement quantitatif est net car il n'y a plus d'eau du tout à la sortie du filtre! **Les filtres dynamiques agissent comme des instruments de mesure de la turbidité** reliés à une vanne d'ouverture et de fermeture; parce qu'ils sont très vite colmatés quand de l'eau brute de haute turbidité traverse le filtre.

**Les filtres dynamiques sont semblables en conception aux filtres à la prise, mais diffèrent par rapport à la taille de matériaux et à la vitesse de filtration.** La taille du gravier de la couche supérieure du filtre en particulier est plus petite; soit moins de 6 mm de diamètre, tandis que la vitesse de filtration est habituellement de plus de 5 m/h. La perte de charge maximale disponible est aussi limitée et varie entre 20 à 40 cm, en dépit des matériaux de filtre plus fins et de la vitesse plus grande du filtre. Enfin, la vitesse du flux horizontal sur la surface du lit doit être faible ou inexistante; soit moins de 0,50 m/s ou nul, pour éviter l'élimination du limon accumulé pendant les pointes de turbidité.

**Les filtres dynamiques sont nettoyés après chaque pointe de turbidité de l'eau.** Le nettoyage est aussi

fait à la main et de la même manière qu'avec les filtres à la prise. Pendant les périodes d'arrêt des filtres dynamiques, le fonctionnement de l'installation de traitement est réduit (par exemple, en réduisant le régime de fonctionnement des filtres lents à sable). **Les filtres dynamiques devraient être utilisés seulement pour les eaux brutes ayant des pointes de turbidité courtes;** soit de quelques heures à une demi-journée au maximum. Les filtres dynamiques sont de préférence situés sur le site des installations de traitement, pour faciliter le suivi et le nettoyage par l'exploitant.

Des ingénieurs sanitaires Russes ont introduit l'idée de filtres dynamiques en Argentine [50], où près de 50 filtres ont été installés et ont fonctionné dans les années 1970. Cependant, la conception de ces filtres diffère de celle présentée ici. Là-bas, l'eau brute coule dans une chambre de dissipation et de là, elle va vers un déversoir d'entrée au-dessus du filtre à sable. Le filtre est exploité de telle sorte qu'une couche d'eau de quelques millimètres coule sur la surface du sable. Cet écoulement charrie les matières solides déposées au-dessus du lit du filtre et les pousse dans le compartiment de récupération du sable, installé au bout du filtre. Des études dans une station pilote menées par Watertek, avec un financement de la Commission de Recherche sur l'Eau, pour tester et démontrer l'utilisation de ce modèle de filtre [51], sont en cours en Afrique du Sud.

## 10.3 Les préfiltres à gravier à flux vertical

**Les préfiltres à gravier peuvent être considérés comme un processus majeur de prétraitement pour les eaux de surface turbides,** puisqu'ils séparent efficacement les particules de matières solides fines sur des périodes prolongées. Ils sont donc placés à la station de traitement et exploités en combinaison avec d'autres unités de prétraitement, tels des filtres dynamiques ou des bassins de sédimentation. Les préfiltres à gravier précèdent les procédés de traitement final, tels la filtration lente à sable et la chloration.

**Les préfiltres à gravier à flux vertical consistent en général en trois unités de filtre en séries,** comme le montre la Fig. 38. L'eau à traiter coule successivement à travers les trois compartiments remplis de matériaux de filtre grossiers, moyens et fins. La taille des trois couches distinctes de matériaux est généralement située entre 20 et 4 mm, et calibrée par exemple en couches de 12 - 18 mm, 8 - 12 mm et 4 - 8 mm.

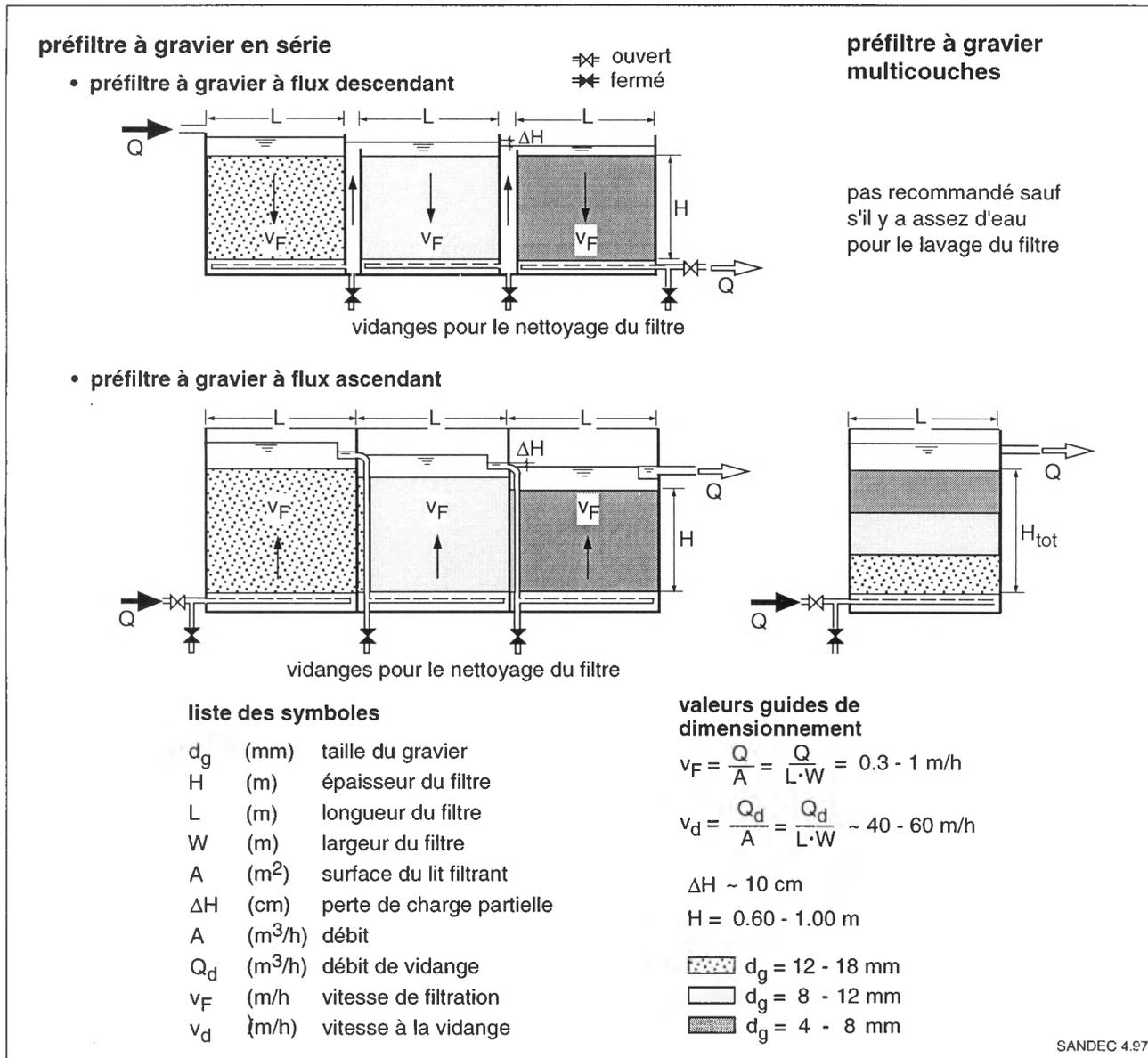


Fig. 38 Plan et conception des préfiltres à gravier à flux vertical

**Les préfiltres à gravier à flux vertical fonctionnent comme des filtres descendants ou ascendants.** Ils sont donc ravitaillés en eau par le haut du filtre ou par le bas. Les matériaux du préfiltre à flux vertical sont complètement submergés. Une hauteur d'eau d'à peu près 10 cm de profondeur couvre habituellement le gravier. Le sommet est recouvert d'une couche de cailloux grossiers pour protéger l'eau surnageante et prévenir ainsi la croissance des algues souvent présentes dans l'eau prétraitée exposée au soleil. Des systèmes de vidange, comprenant des conduites perforées ou un faux radier de filtre, sont installées sur le fond du filtre. Enfin, des conduites ou des compartiments spéciaux d'entrée et de sortie sont nécessaires pour conduire l'eau à travers les trois unités suivantes du filtre.

**Les préfiltres à gravier à flux vertical sont exploités habituellement à une vitesse de filtration de 0,3 à 1,0 m/h.** Ils sont sensibles aux fluctuations hydrauliques, spécialement s'ils sont très chargés de matières solides. Des matières déposées risquent d'être remises en suspension de nouveau à des vitesses de filtration élevées. Le fonctionnement du filtre à un débit constant est donc recommandé. L'eau brute contenant des matières colloïdales en suspension stable devrait être traitée à des débits faibles et de préférence avec des matériaux de filtre fins. La résistance du filtre est habituellement moins de 20 cm par unité de filtre et n'est donc pas un critère décisif de fonctionnement pour des préfiltres à gravier correctement conçus et exploités.

Les contraintes de construction, limitent **la profondeur des préfiltres à flux vertical à une valeur relativement faible d'à peu près 1 m**. La profondeur totale du filtre à trois unités en série est ainsi de 3 m. **Cette profondeur totale disponible limite l'utilisation du préfiltre à gravier à flux vertical**. Elle peut en général traiter efficacement des turbidités modérées d'eau brute de 50 à 150 NTU. Pour les eaux brutes de grande turbidité le prétraitement nécessite des filtres à la prise, la réduction de la vitesse de filtration ou la réalisation de unités de filtration supplémentaires.

**Dans les préfiltres à gravier verticaux**, où toutes les trois couches de gravier sont installées dans un seul compartiment de filtre sur une épaisseur totale de près de 1 m, **de l'eau brute à basse turbidité peut être prétraitée**. Cependant, à cause des difficultés de nettoyage ce modèle ne peut que servir comme préfiltres à flux ascendant. Dans de tels filtres, le matériau grossier est placé au fond du filtre avec le matériau plus fin au-dessus. Les matières solides déposées qui s'accumulent principalement dans la fraction grossière du filtre, près du fond, peuvent être facilement éliminées par l'eau stockée dans le filtre. Les préfiltres à gravier multicouches à flux descendant rencontrent des problèmes considérables avec le nettoyage hydraulique du filtre. Dans ces filtres l'évacuation de la masse des matières solides accumulées dans les matériaux filtrant grossiers en tête du filtre s'effectue à travers les matériaux plus fins et plutôt propres et salissent ainsi complètement le lit. Par conséquent, **l'utilisation des filtres multicouches en flux ascendants est recommandée**.

**Une collecte efficace et adéquate des eaux de lavage est importante** pour un fonctionnement fiable du préfiltre. Des tuyaux perforés ou un radier de filtre peuvent être installés dans des préfiltres à gravier à flux vertical. Dans le cas des tuyaux perforés, elle devraient normalement être posés sur une couche de gros gravier pour faciliter l'extraction uniforme des eaux de lavage, ce qui demanderait un supplément de matériaux de filtre. Aussi la préférence est-elle donnée aux **radiers** de filtre qui permettent une extraction uniforme des eaux de lavage sans avoir recours aux couches supplémentaires de gravier. Bien que ces radiers nécessitent des dalles spéciales perforées en béton, elles sont facile à confectionner sur place.

Une comparaison **des préfiltres à gravier à flux descendant et ascendant** montre ce qui suit:

- **La direction de l'écoulement** et celle de la sédimentation sont évidemment les premières différences entre les deux types de filtre qui peuvent influencer la décantation des matières solides sur le filtrant. L'efficacité dans le rendement d'élimination des matières solides devrait donc varier en conséquence. Théoriquement, les filtres à flux descendant devraient avoir une meilleure performance que les filtres ascendants, étant donné que les matières solides sont plus susceptibles de se déposer sur la surface du gravier, dans la direction du flux que dans des conditions de flux à contre-courant. Cependant, l'expérience pratique sur le terrain a montré une **même efficacité pour les deux filtres**. C'est parce que les matières solides se déposent dans les zones mortes du filtre où le flux de l'eau est réduit au minimum, et où la direction de l'écoulement n'a pas d'influence. Ainsi donc, l'efficacité du filtre est la même dans les deux sortes de filtres.
- **Le modèle d'accumulation de matières solides retenues** est différent selon la direction du flux. La masse des matières solides est déposée à l'entrée du filtre; par exemple, pour les filtres descendant, dans la partie supérieure du filtre, et pour les ascendants, dans la partie inférieure située près du fond du filtre. Cela a **un impact énorme sur le nettoyage hydraulique du filtre**. Dans les préfiltres à gravier à flux descendant, la masse des matières solides accumulées doit être poussée par un volume d'eau de lavage relativement petit, de la surface du filtre souillée vers la partie inférieure plus propre. Le contraire est vrai pour les préfiltres à gravier ascendants. La masse des matières solides retenues est accumulée près du système de vidange et de ce fait un volume d'eau de lavage relativement grand, dans la partie supérieure du filtre est disponible pour pousser les matières solides hors du filtre. **Compte tenu de l'importance du nettoyage du filtre, l'utilisation des préfiltres à gravier à flux descendant est recommandée**.

## La baignoire au bord d'une rivière



La commune de Xiaojiang, située près de la rivière de Giantang, la plus grande dans la province, a affronté des problèmes sérieux avec son système d'alimentation en eau. L'eau brute était pompée sur une distance d'environ 1 km de la rivière jusqu'à la station de traitement située près du château d'eau, au centre de la ville. En 1986, un réseau public fut installé en utilisant la technologie «traditionnelle» de traitement d'eau, à savoir, des coagulants et de la poudre de chlore, ajoutés à l'eau brute, qui a ensuite été pompée dans le bassin de décantation et filtrées de là à travers des filtres rapides à sable. Ceci malgré le fait que la rivière soit reconnue comme transportant une charge importante de boue, spécialement pendant la saison des pluies. Ces matières solides, accumulées dans la conduite principale d'eau brute ont augmenté la perte de charge et ont réduit sérieusement sa capacité hydraulique. En outre, les consommateurs d'eau buvant beaucoup de thé se plaignaient toujours du goût déplaisant de l'eau distribuée.

La réhabilitation de l'installation de traitement devint inévitable après six ans d'exploitation. Embarrassés par la situation, M. Xu et son équipe ont transformé le bassin de sédimentation en deux unités de préfiltre à gravier à flux ascendant, et ont construit deux nouveaux filtres lents à sable. Toutes ces installations ont

été construites derrière le mur de l'enceinte du traitement existant et n'ont pas beaucoup attiré l'attention des populations. Cependant, ces modifications n'ont pas résolu le problème d'obstruction dans la conduite d'eau brute et la petite maison de pompage ne pouvait pas admettre une installation plus large que les doseurs chimiques habituels. L'équipe du projet reconnut ses erreurs de conception et décida d'affronter les critiques des populations en élevant une structure éclatante et voyante.

Pour éviter une seconde étape de pompage, deux autres préfiltres à gravier à flux ascendant ont été construits sur un site élevé près de la retenue du barrage. Les murs ont été couverts de beaux carreaux blancs comme dans les salles d'eau. M. Xu et son équipe, convaincus de l'efficacité des préfiltres à gravier et les filtres lents à sable, ont à cette occasion pris la bonne décision. La turbidité de l'eau brute de 500 NTU est maintenant réduite à 60-180 NTU par les filtres ascendants, et à 12-30 NTU par les seconds préfiltres et le filtrat des filtres lents à sable est maintenant toujours moins de 5 NTU. Et le plus important, c'est que les plaintes des consommateurs ont cessé depuis que l'on n'utilise plus de produits chimiques pour traiter l'eau, et le public n'a aucune raison de critiquer la baignoire au bord de la rivière.

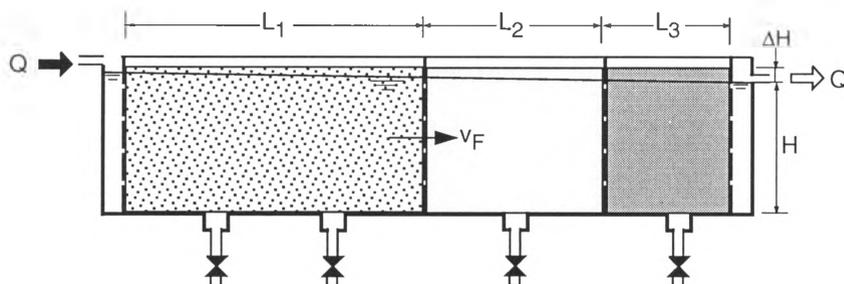
## 10.4 Les préfiltres à gravier à flux horizontal

La longueur illimitée et une conception simple sont les grands avantages des préfiltres à gravier à flux horizontal. Généralement, ces structures basses ne pose pas de problèmes structurels et la longueur n'est pas limitée à quelques mètres. En outre, sa conception simple n'a pas besoin de structures hydrauliques supplémentaires ni d'autres installations comme dans les préfiltres à gravier à flux vertical. L'eau coule dans une direction horizontale depuis l'entrée du compartiment à travers une série de matériaux de filtre calibrés, séparés par des murs perforés vers la sortie du filtre, comme illustré dans la Fig. 39. Les matériaux du filtre varient en taille de 20 à 4 mm et sont habituellement répartis en matériaux grossiers, moyens et fins. Pour éviter une croissance des algues dans le filtre, le niveau de l'eau est maintenu en-dessous de la surface des matériaux du filtre, par un déversoir ou un tuyau d'effluent placé à la sortie du filtre.

La vitesse de filtration dans les préfiltres horizontaux va de 0,3 et 1,5 m/h. Cela a été défini ici comme la

charge hydraulique ( $m^3/h$ ) par unité de surface de la section transversale ( $m^2$ ) du filtre. La longueur du filtre dépend de la turbidité de l'eau brute. Elle est comprise d'habitude entre 5 et 7 m. Selon la longueur, les préfiltres à gravier à flux horizontal peuvent supporter des courtes pointes de turbidité de 500 à 1000 NTU.

Des équipements de vidange tels que les conduites perforées, des gouttières ou des dalots permettent un nettoyage hydraulique du lit de filtre. Ces équipements de vidange sont placés au fond du filtre, perpendiculairement à la direction du débit. Un emplacement en direction du débit est à éviter pour empêcher la création des courts-circuits pendant le fonctionnement normal du filtre. Aussi, les radiers de filtre ne peuvent pas être installés dans les préfiltres à gravier à flux horizontal. Puisque la plupart des matières solides s'accumulent à l'entrée du filtre, les équipements de vidange doivent être placés au commencement de chaque compartiment pour augmenter l'efficacité de nettoyage hydraulique. La mise en place des gouttières compliquent la construction du radier du filtre. En outre, puisque la distance  $L_d$  horizontale entre les gouttières



### liste des symboles

$d_g$	(mm)	taille de gravier
H	(m)	épaisseur du lit filtrant
$L_{1,2,3}$	(m)	longueur du filtre
W	(m)	largeur du filtre
A	( $m^2$ )	section du filtre
$\Delta H$	(cm)	perte de charge maximale
Q	( $m^3/h$ )	débit
$Q_d$	( $m^3/h$ )	débit de vidange
$v_F$	(m/h)	vitesse de filtration
$v_d$	(m/h)	vitesse à la vidange

### valeurs guides de dimensionnement

$$v_F = \frac{Q}{H \cdot W} = \frac{Q}{A} = 0.3 - 1.5 \text{ m/h}$$

$$v_d = \frac{Q_d}{(L_1 + L_2 + L_3) \cdot W} \sim 60 - 90 \text{ m/h}$$

$$\Delta H \sim 30 \text{ cm}$$

$$H \sim 0.80 - 1.20 \text{ m}$$

$$\text{[Pointillés]} \quad d_g = 12 - 18 \text{ mm} \quad L_1 \sim 2 - 4 \text{ m}$$

$$\text{[Blanc]} \quad d_g = 8 - 12 \text{ mm} \quad L_2 \sim 1 - 3 \text{ m}$$

$$\text{[Gris]} \quad d_g = 4 - 8 \text{ mm} \quad L_3 \sim 1 - 2 \text{ m}$$

Fig. 39 Plan et conception d'un préfiltre à gravier à flux horizontal

est habituellement grande, une collecte uniforme de la boue est également difficile. Par conséquent, **l'utilisation de conduites perforées est le meilleur système de vidange pour les préfiltres à gravier à flux horizontal** car ils permettent la mise en place facile d'un système dispersé. Quoique l'utilisation de dalots de drainage puissent permettre une élimination plus uniforme des matières solides, ce système pose des problèmes de branchement à la conduite d'eau de lavage.

**Les préfiltres à gravier à flux horizontal ont une large capacité de stockage de la matière solide.** Les matières solides se déposent au-dessus de la surface du filtre et se développent en petits tas d'agrégats pendant la durée de la filtration. Une partie des petits tas sera entraînée vers le bas du filtre aussitôt qu'elle est devenue instable. Cela régénère l'efficacité du filtre en surface, et envase lentement le filtre du bas jusqu'en haut. Les préfiltres à flux horizontal réagissent moins aux changements de vitesses de filtration, car les amas de matières solides remis en suspension seront entraînés vers la base du filtre ou seront retenus par les couches successives du filtre. Les préfiltres à gravier à flux horizontal sont ainsi moins susceptibles que les filtres à flux vertical à la traversée des matières solides résultant des changements de débit. Cependant, ils peu-

vent réagir de façon plus sensible aux courts-circuits causés par une température variable de l'eau brute.

**Le nettoyage périodique est aussi essentiel pour les préfiltres à gravier à flux horizontal.** Le nettoyage hydraulique est fait par une vidange rapide de l'eau stockée dans le filtre. Pendant la vidange du filtre, les petits tas de matières solides accumulées se désagrègent et sont poussés par l'eau vers le fond du filtre. De même les matières solides captées dans le filtre sont poussées par l'eau de vidange hors du compartiment du filtre. **Une vitesse de vidange de 60 à 90 m/h est nécessaire** pour atteindre une bonne efficacité du nettoyage hydraulique. Les conduites de vidange de taille adéquate sont requises pour atteindre la vitesse recommandée pour une vidange du filtre en 1 ou 2 minutes. Selon la concentration des matières solides dans l'eau brute, le nettoyage hydraulique régulier du filtre à des intervalles de quelques semaines est nécessaire, pour éviter la détérioration de l'efficacité du filtre et le développement d'une résistance excessive au niveau du filtre. Avec une exploitation normale et un nettoyage régulier, la résistance du filtre ne devrait pas dépasser 20 cm. Un drainage efficace et fréquent du filtre permet de retarder le nettoyage manuel, quoique ceci est inévitable après quelques années d'exploitation.

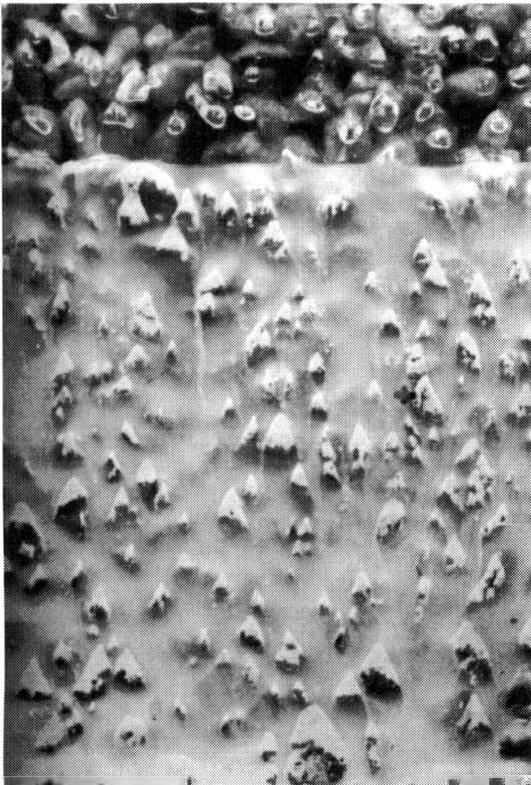


Photo 6

*Vue intérieure du lit d'un préfiltre à gravier pendant le nettoyage hydraulique*

## Apprendre des pays en développement



La demande en eau de l'agglomération de Basle s'accroît graduellement à cause de l'industrialisation et la migration dans cette ville grâce à sa prospérité. Les bâtiments et les autoroutes nouvellement construits ont contribué à rendre les surfaces imperméables, et à réduire la recharge des nappes d'eau. La demande d'eau accrue et le taux de recharge réduit ont conduit à une baisse alarmante du niveau des eaux souterraines. Les puits ont presque séché. Afin de renverser la situation, une station artificielle de recharge de la nappe d'eau a été construite à Aesch en début 1970.

L'eau brute était pompée du fleuve Birs jusqu'à dans la lagune pour séparer les matières grossières, d'où elle est conduite dans des préfiltres à gravier à flux horizontal pour la séparation des matières fines. Ensuite, elle est aérée par cascades avant de couler dans une grande lagune jouant le rôle de filtre lent à sable. L'eau traitée est enfin conduite dans des puits de recharge de l'aquifère à travers la couche supérieure imperméable. Bien que la capacité initiale de la station soit de 400 l/s, l'exploitation fut réduite à 200 l/s à cause des problèmes de fonctionnement. L'inefficacité dans l'élimination des matières solides en était la cause. Une autre conséquence était l'ensablement graduel des puits de recharge et la baisse continue du niveau de la nappe d'eau.

Les préfiltres à gravier à flux horizontal ont été conçus selon le plan illustré dans la Fig. 22. Les préfiltres

de 15 m de longueur, remplis d'une seule couche de gravier de 50 à 80 mm de diamètre, étaient exploités à des vitesses de filtration de 5 à 10m/h. Cette conception et l'exploitation inappropriées ont abouti à des rendements médiocres dans l'élimination de matières solides. Le filtre lent à sable fut rapidement colmaté, si bien que l'eau partiellement traitée traversa les matières grossières de la digue pour entrer directement dans le puits de recharge. De plus, puisque les préfiltres à gravier ne pouvaient pas être nettoyés hydrauliquement, il fallait remplacer le gravier tous les six ans, une entreprise coûteuse causant des migraines à la direction du service des eaux.

Entre-temps, durant la dernière décennie, la technologie des préfiltres à gravier a été développée pour devenir une alternative de traitement viable dans les pays en développement. Les responsables des services des eaux ont eu accès aux informations nécessaires et ont testé les préfiltres à gravier sur le terrain. Les résultats des tests comparatifs ont révélé des améliorations importantes, par exemple, les petits préfiltres à gravier à flux ascendant, de 1 m de long conduisent à des rendements de séparation 6 fois plus élevés que les anciens modèles. Grâce à la possibilité de nettoyage hydraulique, les coûts de fonctionnement sont réduits. La société haute technologie de Basle s'étonnait de l'efficacité de cette technologie à faible coût.



## 11. Efficacité du préfiltre à gravier

### 11.1 Expérience pratique

**L'efficacité du traitement dépend des caractéristiques de l'eau brute, de la disposition et du fonctionnement des préfiltres à gravier.** La taille, la concentration et le type de particules et la stabilité de la suspension sont les paramètres de qualité de l'eau brute les plus importants, qui influencent l'efficacité dans l'élimination des matières solides en suspension. D'autre part, les facteurs clés qui déterminent l'efficacité du filtre sont la taille des matériaux, la longueur du filtre, la vitesse de filtration appliquée et la fréquence du nettoyage. Aussi, les préfiltres à gravier ayant des dispositifs types et une exploitation identiques peuvent varier dans leur performance avec différentes sources d'eau brute. Un filtre spécifique n'aura pas lui-même très probablement une efficacité constante avec la même source: des rendements de séparation élevés seront enregistrés à des périodes de turbidité élevée, tandis que des rendements plus bas seront remarqués pendant les périodes de turbidité modérée de l'eau brute. Par conséquent, une indication exacte de l'efficacité du filtre est généralement quasi impossible.

**L'efficacité du traitement de divers préfiltres à gravier a été étudiée d'une manière approfondie par CINARA [46] dans une station pilote à Puerto Mallarino, Cali, Colombie** (rapportée également en [48]). Ces tests de terrain sont considérés comme étant les études pilotes les plus complètes sur les préfiltres à gravier. La station pilote consiste en une première étape de prétraitement utilisant des filtres à la prise/dynamiques pour pré-conditionner l'eau brute captée du fleuve Cauca. Le flux est alors divisé en cinq filières ou la performance des différents préfiltres à gravier est testée en combinaison avec des filtres lents à sable identiques, utilisés comme des références. Les types de préfiltres à gravier suivants sont installés à Puerto Mallarino.

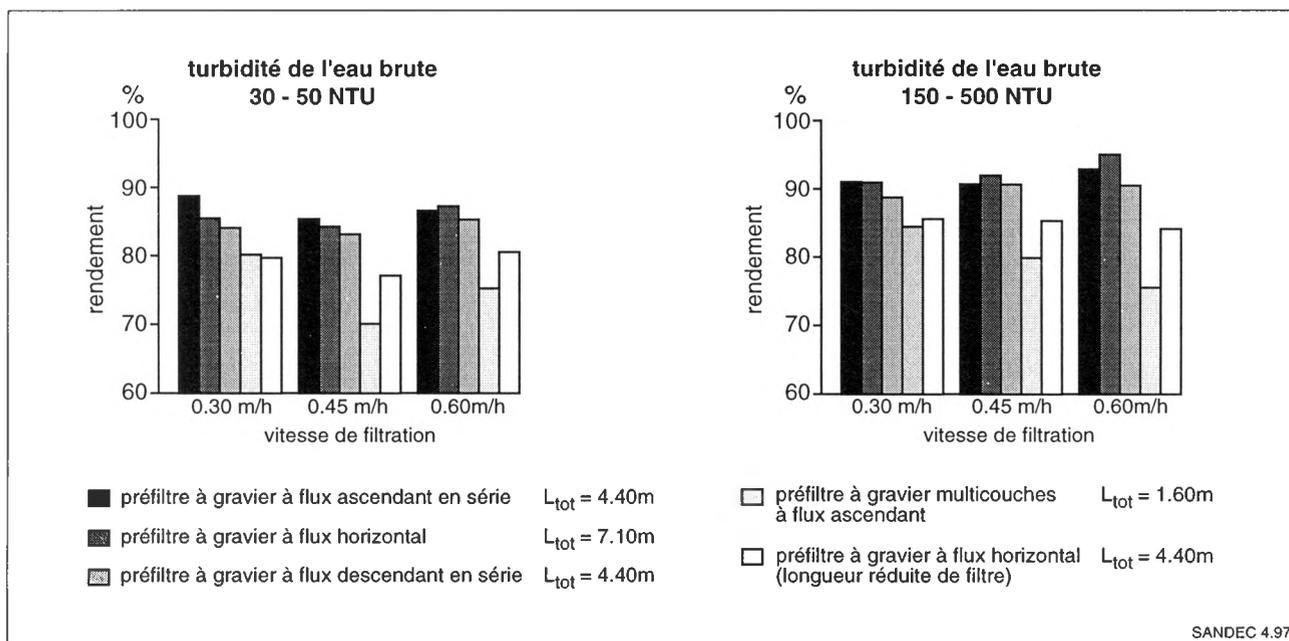
■ préfiltres à gravier à flux ascendant en série	PGFAS
■ préfiltres à gravier multicouches à flux ascendant	PGMFA
■ préfiltre à gravier à flux horizontal modifié	PGFHM
■ préfiltre à gravier à flux horizontal	PGFH
■ préfiltre à gravier à flux descendant en série	PGFDS

Tous les préfiltres ont des couches de gravier similaires mais ils sont différents selon la longueur du filtre. La longueur totale des filtres PGFAS, PGFHM et PGFDS s'élève à 4,40 m. La longueur totale de l'unité de filtre PGFH est de 7,10 m et 1,60 m pour l'unité de filtre PGMFA. Les unités de filtre lent à sable ont une forme circulaire, 2 m de diamètre et 2 m de hauteur. Elles contenaient une couche de sable de 1 m d'épaisseur à l'origine qui a été graduellement réduite suite au nettoyage du sable, mais jamais en dessous de 0,60 m. Le diamètre effectif du sable était de 0,2 mm et le coefficient d'uniformité de 1,57.

La Fig. 40 résume **l'efficacité des différents préfiltres à gravier en rapport avec la réduction de la turbidité** à différentes vitesses de filtration et à deux niveaux distincts de turbidité de l'eau brute. Les graphiques présentent des rendements de séparation des solides élevés de 85 à 90 % ou même plus, pour des périodes de turbidité élevée (150 à 500 NTU). L'efficacité du filtre est réduite à environ 80 - 85 % ou moins, pendant les périodes de turbidité modérée (30 à 50 NTU) et est par conséquent conforme à la théorie générale du filtre. Les diverses vitesses de filtration utilisées étant faibles, elles n'ont pas eu d'influence significative sur l'efficacité des filtres dans l'élimination de la turbidité, car à ces vitesses, un écoulement laminaire a prévalu dans toutes les couches, même à la vitesse la plus élevée, soit 0,60 m/h. Les préfiltres à gravier à flux ascendant en série et à flux horizontal ont eu la meilleure performance tout au long du test. La plus mauvaise performance est obtenues avec l'unité de préfiltre à gravier à flux descendant.

La Fig. 41 montre **l'efficacité des différentes étapes de traitement de la station pilote par rapport à la réduction des matières solides en suspension et des coliformes fécaux.** Les filtres à la prise/dynamiques réduisent la concentration moyenne de matières solides en suspension de 55 %, à savoir de 200 mg/l environ à 90 mg/l. Cette concentration a été réduite davantage (à moins de 5 mg/l) par les préfiltres à gravier et enfin le filtrat des filtres lents à sable avait une concentration moyenne de matières solides en suspension de 0,2 à 0,3 mg/l. La concentration en matières en suspension relativement élevée du préfiltre à gravier multicouche à flux ascendant indique que la stabilité du processus est comparativement faible dans ce filtre.

La concentration moyenne de coliformes fécaux de l'eau brute d'environ



SANDEC 4.97

Fig. 40 Elimination de la turbidité par différents préfiltres à gravier

40 000 CF/100 ml a été par la suite réduite à environ 24 000, 400 et à moins de 1 CF/100 ml, par les dispositifs de traitement qui consistaient en des filtres à la prise/dynamiques, des préfiltres à gravier et des filtres lents à sable. Le préfiltre à gravier à flux horizontal modifié avait la plus faible efficacité pour l'élimination des coliformes fécaux, soit 96,5%. Ce taux a aussi influencé la performance du filtre lent à sable suivant, qui a produit un effluent moyen de 2,6 CF/100 ml alors que tous les autres avaient une concentration moyenne de coliformes fécaux inférieure à 1 CF/100 ml dans leurs effluents.

**La Fig. 41 fournit davantage d'informations sur l'efficacité de traitement de la station pilote.** Les deux étapes de prétraitement et les filtres lents à sable ont pu réduire la concentration de matières solides en suspension d'environ 200 mg/l à environ 0,2 mg/l, soit une réduction de 3 unités log, tandis que la concentration de coliformes fécaux était réduite de 40 000 CF/100 ml environ à moins de 1 CF/100 ml en général, ce qui correspond à une réduction de 4 à 5 unités log.

Les stations de traitement à grande échelle ne sont pas suivies ni contrôlées de manière aussi détaillée. Néanmoins, **la Fig. 42 présente les résultats acquis d'un réseau communautaire d'alimentation en eau** qui montre le développement des activités biologiques dans les filtres [52]. L'eau brute de la station de traitement de Javeriana provient du fleuve Pance; un fleuve des régions montagneuses d'une turbidité modérée. L'eau est traitée par un filtre à la prise, deux préfiltres

à gravier à flux horizontal et deux filtres lents à sable, exploités à des vitesses de filtration de 1,3, 0,6 et 0,08 m/h. La concentration en coliformes fécaux allant de 1 000 à 10 000 CF/100ml environ est la preuve d'une contamination fécale relativement élevée de l'eau brute. La turbidité d'environ 20 NTU est relativement faible pendant les périodes sèches, mais s'accroît jusqu'à de courtes pointes de turbidité après les périodes de pluies. La couleur apparente d'environ 100 CU/l en moyenne suit un modèle similaire à la turbidité. Une maigre concentration de coliformes fécaux dans l'eau pré-traitée s'élevait à 200 CF/100 ml environ et n'avait pas baissé pendant la période de suivi de six mois. L'eau traitée avait au départ des concentrations de coliformes fécaux quelque peu élevées de plus de 10 CF/100 ml, mais la concentration s'est stabilisée à 1 CF/100 ml environ après trois semaines d'exploitation. Cela correspond à la période de maturation du filtre lent à sable: la réduction globale de la turbidité et de la couleur apparente a indiqué une amélioration distincte pendant les six premiers mois d'exploitation. Avec l'exploitation progressive du filtre, l'efficacité de traitement pour les mêmes paramètres s'est accrue également dans le préfiltre à gravier, très probablement grâce au développement graduel des processus biologiques dans ce filtre.

Le tableau 4 résume **l'efficacité du traitement des préfiltres à gravier exploités selon les différentes directions d'écoulement.** Les matériaux des préfiltres à gravier à flux descendant et horizontal sont plutôt grossiers, en comparaison à ceux utilisés dans les préfiltres à flux ascendant, exploités cependant à plus du double de

la vitesse normale du filtre. Néanmoins, dans toutes les trois stations de traitement, la réduction de la turbidité

s'élève à environ 70 à 90 %. L'amélioration de la qualité bactériologique de l'eau était environ du même ordre.

## Les avantages microbiologiques tirés des filtres à gravier



En 1977, un système d'alimentation en eau avait été construit pour la communauté de Cocharcas, située dans une zone agricole de la Haute Sierra des Andes, et comptant environ 1000 habitants. Sa conception était typique et comprenait une prise d'eau d'un canal d'irrigation, un bassin de sédimentation, deux filtres lents à sable, un réservoir et un système de distribution avec des branchements, à raison d'un robinet par famille. En 1985, le système d'alimentation en eau s'est sérieusement détérioré. Le système ne fonctionnait que deux à trois heures par jour, à cause de l'utilisation fréquente du canal d'irrigation par d'autres villages. Ni la prise d'eau, ni la station de traitement,

était donc nécessaire et un accord sur l'utilisation de l'eau entre les communautés voisines fut alors conclu. Un déversoir installé au site révéla un besoin d'eau dans le domaine de l'agriculture supérieur au besoin limité en eau de consommation du village. Deux filtres à gravier ont alors été construits avec la participation de la communauté pour permettre une exploitation adéquate des filtres lents à sable, tout en garantissant une étape supplémentaire de prétraitement de l'eau brute. La station de traitement fonctionne maintenant à un débit constant et les efforts ont été récompensés par les données suivantes relative à l'amélioration de la qualité de l'eau:

Coliformes fécaux compte/100ml	valeur moyenne	% de réduction par étape de traitement	% de réduction cumulative
eau brute	20 000	-	-
bassin de sédimentation	14 500	27	27
filtre à gravier	1 200	92	94
filtre lent à sable	20	98	99,9

n'étaient dotées d'un système de contrôle du débit. L'agent de maintenance ne se souciait que de remplir le réservoir aussi rapidement que possible. Aussi, étant donné que les filtres lents à sable étaient lourdement surchargés et avaient perdu leur efficacité de traitement, de l'eau contaminée de matières fécales était fournie à Cocharcas. La réhabilitation du système

L'expérience des Andes révèle que les préfiltres à gravier améliore l'exploitation du filtre lent à sable et augmente la performance globale de la station. Le système à barrières multiples s'avère un concept approprié pour l'alimentation en eau des zones rurales.

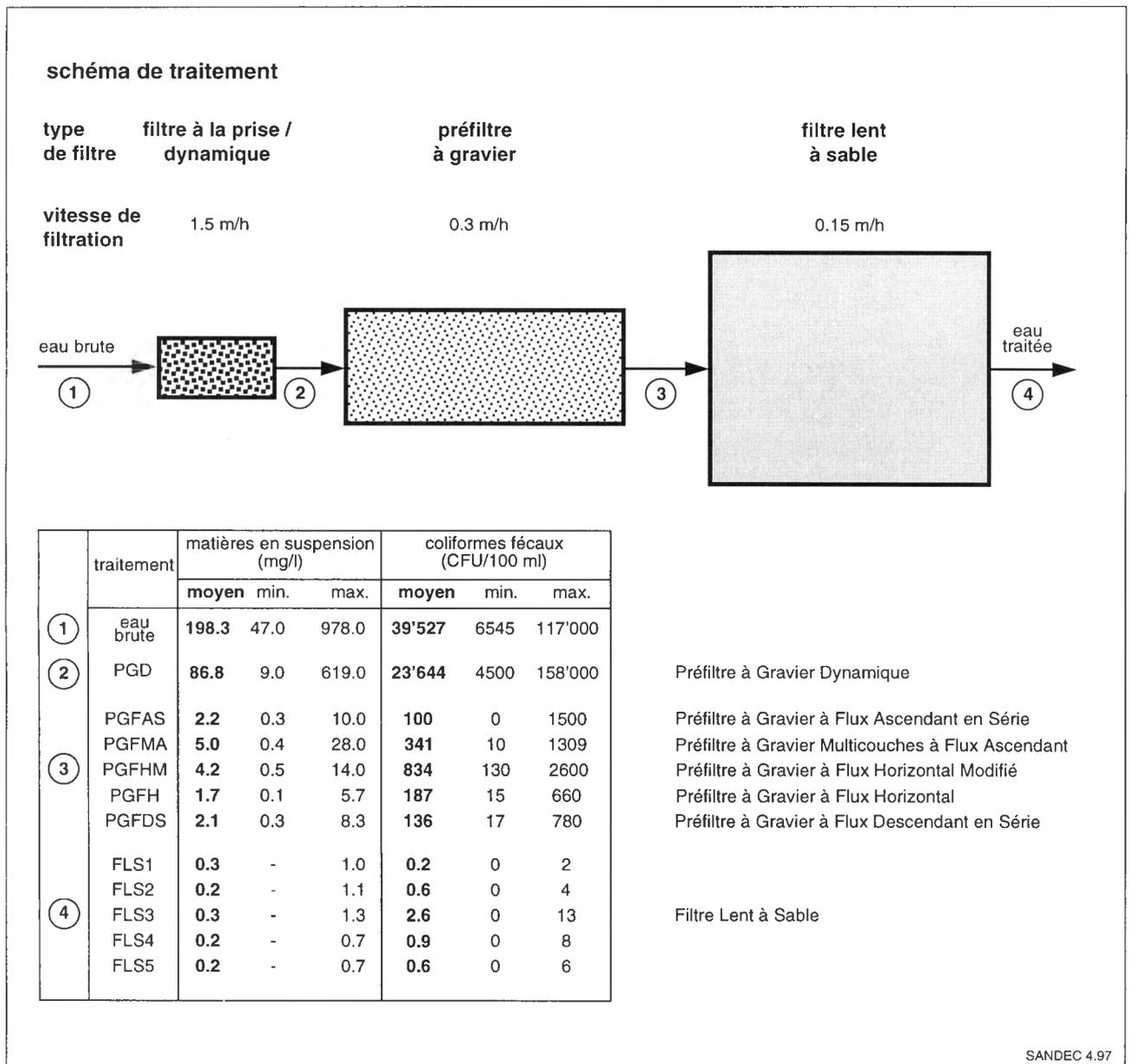


Fig. 41 Réduction des matières solides en suspension et de coliformes fécaux par préfiltration sur gravier et filtration lente sur sable

**L'efficacité du traitement des préfiltres à gravier est aussi limité** dans la mesure où ils ne sont pas capables de traiter tous les types d'eau comme illustré dans l'exemple suivant [56]. La construction d'un système d'alimentation en eau était une composante du projet à multiple objectifs de Laka Laka. Pour alimenter leur réseau l'équipe du projet décida de capter de l'eau brute de la retenue d'eau nouvellement construite pour l'irrigation. La turbidité élevée de l'eau brute a conduit à des périodes d'exploitation extrêmement courtes des deux filtres lents à sable. Deux préfiltres à gravier à flux horizontal ont par conséquent été conçus sur la base des données disponibles, afin d'améliorer l'explo-

tation des filtres lents à sable. Les préfiltres à gravier de 18 m de long étaient exploités à une vitesse de filtration de 2,5 m/h. Comme l'efficacité du filtre était vraiment médiocre à cette vitesse, la vitesse a été réduite à 0,5 m/h, mais sans réaliser une amélioration substantielle de l'efficacité du traitement. Ces problèmes ont été rencontrés principalement parce que les préfiltres à gravier et les filtres lents à sable n'avaient jamais été utilisés dans cette zone auparavant. Cependant, ils auraient pu être évités par des tests à l'échelle pilote (qui sont fortement recommandés dans une telle situation) que l'on conduit à la phase de conception du projet.

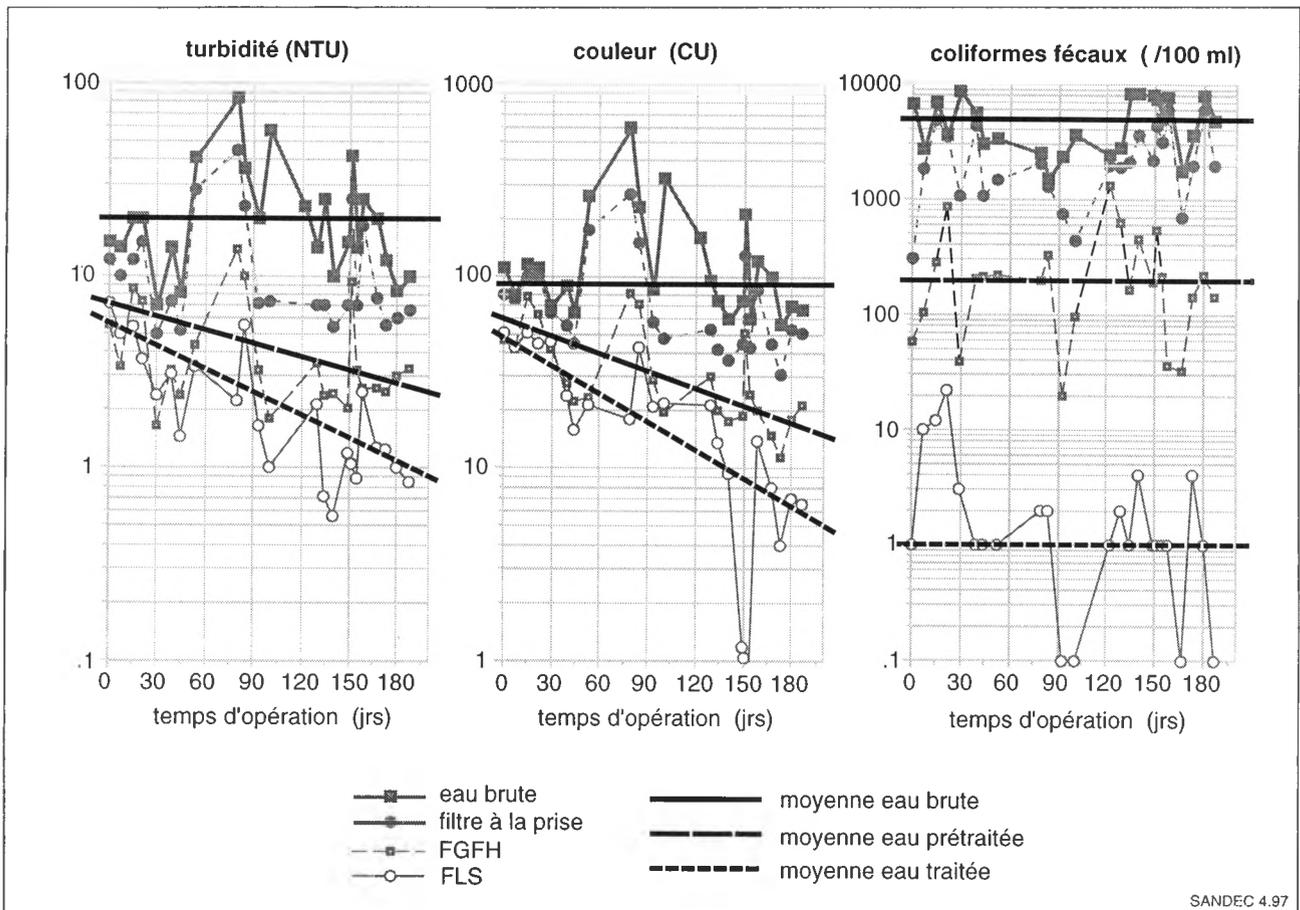


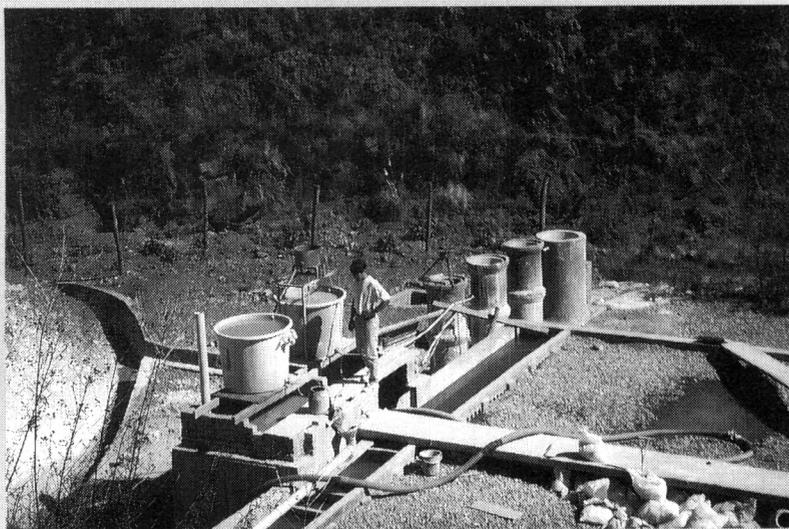
Fig. 42 Réduction de la turbidité, de la couleur apparente et des coliformes fécaux à la station de traitement de la Javeriana en Colombie

Disposition et performance	Azpitia, Pérou	El Retiro, Colombie	Blue Nile Health Project, Soudan
type de préfiltre à gravier	à flux descendant	à flux ascendant (filtre multicouche)	à flux horizontal
vitesse de filtration	0.30 m/h	0.74 m/h	0.30 m/h
capacité de dimensionnement	35 m <sup>3</sup> /j	790 m <sup>3</sup> /j	5 m <sup>3</sup> /j
longueur du filtre et taille (mm) des matériaux	60 cm, Ø 40 - 25 60 cm, Ø 25 - 12 60 cm, Ø 12 - 6	20 cm, Ø 18 15 cm, Ø 12 15 cm, Ø 6 15 cm, Ø 3	270 cm, Ø 25 - 50 85 cm, Ø 15 - 20 85 cm, Ø 5 - 10
turbidité (NTU)			
■ eau brute	50 - 200	10 - 150	40 - 500
■ eau préfiltrée	15 - 40	5 - 15	5 - 50
coliformes fécaux (/100 ml)			
■ eau brute	700	16,000	> 300*
■ eau préfiltrée	160	1,680	< 25*
référence	[53]	[54]	[55]

\* exprimé en E.coli

Tableau 4 Exemples et expériences pratiques avec des préfiltres à gravier

## Les limites des préfiltres à gravier



Le projet Laka-Laka dans la région des Andes est un projet à buts multiples visant à fournir de l'eau à un vaste projet d'irrigation et à Tarata, une petite ville de 3 000 habitants, située près du barrage nouvellement construit. L'eau dans le réservoir est de couleur brune et doit être traitée avant la consommation. Une organisation non gouvernementale (ONG) locale, expérimentée dans les travaux communautaires mais sans expertise technique dans le domaine de l'alimentation en eau était responsable de l'exécution du projet. La conception de la station de traitement de l'eau était basée sur une documentation rassemblée par le personnel local.

Dans une première phase deux grandes unités de filtre lent à sable ont été construites; elles furent rapidement colmatées par l'eau brute turbide. La documentation fut de nouveau consultée et le personnel décida de construire deux préfiltres à gravier à flux horizontal, tels que recommandés par le manuel. Chacun de ces deux filtres avait une longueur totale de 18 mètres et fonctionnait à un débit de plus de 2,5 m<sup>3</sup>/h. Toutefois, la turbidité ne pouvait pas être réduite de manière significative par les préfiltres. Comme la construction de la station de traitement avait été réalisée avec la participation de la communauté, les citoyens de Tarata s'attendaient à une bonne qualité d'eau après leur contribution substantielle aux travaux. Les relations entre le personnel du terrain et la population locale devint tendue.

Comme des préfiltres à gravier n'avaient jamais été construits auparavant dans leur pays, l'ONG demanda conseil à des experts en traitement d'eau d'un pays voisin. Ana Maria eut un contrat avec le projet comme consultante. Pendant sa première visite du terrain, elle alla inspecter le réservoir et vit la même eau brunâtre

qui s'écoulait des préfiltres à graviers exploités pourtant à des vitesses réduites comme recommandées avant sa première visite. Malgré les trois mois écoulés depuis les dernières pluies, l'eau stockée dans le réservoir avait à peine changé d'apparence. La turbidité était toujours autour de 300 NTU. La conclusion préliminaire d'Ana Maria fut confirmée par les tests en laboratoire qui ont révélé que l'eau brute charriait une grande quantité de matières colloïdales qui ne pouvaient pas se déposer dans cette suspension stable.

Les tests de terrain ont été menés pour déterminer le système de traitement le plus approprié pour cette eau. L'ONG construisit une petite station pilote selon les dimensionnements du consultant. Elle se situait près de la prise des anciens filtres à gravier et consistait en trois cylindres en béton utilisés comme des préfiltres à gravier à flux ascendants et un cylindre plus grand simulant un filtre lent à sable. Les trois colonnes furent remplies du gravier du vieux filtre; toutefois, du sulfate d'aluminium et de la chaux ont été ajoutés à l'effluent de la première colonne. Ainsi, les deux unités suivantes étaient exploitées comme des filtres de contact et leur efficacité fut extraordinaire. La turbidité de l'eau brute, de près de 350-400 NTU, a été réduite à près de 340 NTU dans la première colonne du filtre, jusqu'à 20 NTU dans le second et 1,5 NTU dans la colonne du troisième filtre, avec un dosage de 40 mg/l de sulfate d'alun et un PH de 10 ajusté avec une addition de chaux. Les résultats de la station de traitement ont été utilisés comme des valeurs de dimensionnement pour la réhabilitation de la station de traitement.

Cette expérience prouve que chaque procédé de traitement a ses limites comme la compétence du personnel du terrain.

## 11.2 Les installations pilotes

Tel que décrit dans le chapitre précédent, **l'expérience universelle avec les préfiltres à gravier et filtres lents à sable montre le potentiel significatif de ce concept de traitement dans la production de l'eau potable à partir de l'eau de surface turbide et polluée.** Il n'y a aucun doute à propos de l'efficacité générale du traitement des filtres lents à sable, puisqu'un filtre biologique mature réduira de manière consistante la concentration des microorganismes de 2 à 4 logs (99 à 99,99% de réduction). C'est plus une question d'efficacité spécifique de traitement des préfiltres à gravier et des filtres lents à sable pour une alimentation depuis une source d'eau brute locale. **La traitabilité d'une eau brute est d'une grande importance** pour les ingénieurs de conception, en particulier si l'expérience pratique locale dans ce procédé de traitement et avec la source d'eau brute est inexistante.

Une gamme variée de qualités d'eau brute peut être traitée, théoriquement, par des procédés conventionnels de traitement d'eau; par exemple: la coagulation, la floculation, la décantation, la filtration rapide à sable et la chloration; comme ces dispositifs de traitements sont flexibles par rapport au dosage chimique, au temps de séjour, aux charges hydrauliques et à la pression de l'eau. Contrairement à de tels dispositifs, les préfiltres à gravier et les filtres lents à sable sont plutôt limités dans la flexibilité du fonctionnement mais procurent un procédé de haute stabilité. **Grâce à la simplicité de la technologie du préfiltre à gravier et le filtres lents à sable, seuls les trois points clés seront adressés dans les études des stations pilotes:**

- **Les préfiltres à gravier peuvent-ils réduire la turbidité de l'eau brute à un niveau requis pour l'exploitation raisonnable du filtre lent à sable ?**
- **A quelle vitesse la perte de charge s'accroît-elle dans le filtre lent à sable ?**
- **Sur quelles valeurs de dimensionnement la disposition du projet doit-elle être basée ?**

**La première question se focalise sur l'efficacité du prétraitement des préfiltres à gravier** en ce qui concerne la réduction de la turbidité. Une revue complète de la documentation [17] révèle qu'une limite de turbidité supérieure allant de 5 à 20 NTU permettra une exploitation raisonnable du filtre lent à sable. Les caractéristiques de l'eau brute influence le type de prétraitement qui convient. Mais souvent des **données sur la qualité de l'eau sont rares ou inexistantes**, en particulier pour les peti-

tes sources d'eau de surface. Ce manque de données peut être compensé en partie par la caractérisation de la source. Différents types de matières solides sont transportés selon que l'eau soit d'une rivière de plateaux, des bas-fonds ou une eau de surface calme. Une inspection du cours d'eau et une étude du dépôt de limon dans le lit de la rivière et sur les berges, fourniront des informations sur le type et la taille des matières solides susceptibles de se trouver dans l'eau pendant les périodes de grandes crues. Des interviews avec la population locale pourraient fournir quelques détails sur le niveau de fluctuation saisonnière de l'eau et le type de turbidité (couleur, période de pointe) au cours de l'année. Enfin, des tests simples de décantabilité et de stabilité des suspensions comme décrits en Annexe 1, proposent des informations valables sur les caractéristiques de séparation des matières solides. Sur la base de ces informations on peut sélectionner le type et le nombre d'étapes de prétraitement convenables, tel que présenté dans le chapitre 12. **Ensuite l'efficacité du système de prétraitement choisi sera évaluée dans une petite station pilote** comme mentionnée en Annexe 5.

**La deuxième question porte sur le développement des pertes de charge dans le filtre lent à sable.** Un paramètre crucial qui détermine l'efficacité du traitement d'un filtre lent à sable pour une eau prétraitée donnée, est l'allure à laquelle la résistance du filtre s'accroît. La période d'exploitation du filtre (définie comme le temps entre deux nettoyages consécutifs du filtre) devrait durer au moins un mois. Le nettoyage fréquent du filtre interférerait avec les activités biologiques concentrées principalement sur la surface du lit de sable, en particulier dans le «Schmutzdecke». Les filtres lents à sable n'ayant que des périodes d'exploitation de quelques jours agissent plutôt comme des filtres physiques et sont ainsi incapables d'améliorer substantiellement la qualité microbiologique de l'eau. Le développement du «Schmutzdecke» est connu comme une période de mûrissement et dépend grandement de la charge organique et de la composition biologique de l'eau brute. La couche biologique se développe graduellement au-dessus du lit de sable et devient plus compacte avec le temps. Ainsi, dans un filtre lent à sable avec contrôle à l'entrée, le niveau de l'eau commence à augmenter. Le filtre doit être nettoyé au moment où le niveau de l'eau surnageante atteint le trop-plein. Puisque chaque eau est unique en ce qui concerne la formation du «Schmutzdecke», il est important de suivre la perte de charge enregistrée par la lecture d'un simple piézomètre. **Les caractéristiques de fonctionnement des filtres lents à sable devraient donc être étudiées par des installations pilotes**, si l'expérience pratique n'est pas disponible localement.

**La dernière question vise à optimiser la conception de la station.** La taille et la disposition des filtres peuvent être modifiées une fois que le plan de traitement choisi a prouvé sa pertinence générale. La charge hydraulique du filtre a un impact direct sur la taille des structures car elle les influence directement. Cependant, **les préfiltres à gravier et les filtres lents à sable ne devraient pas être conçus sur la base de leur vitesse de filtration maximale.** L'utilisation de valeurs plus conservatrices est recommandée, par exemple: une vitesse de filtration de 0,1 à 0,2 m/h pour les filtres lents à sable. Des vitesses plus élevées peuvent devenir nécessaires avec les demandes accrues d'eau. D'autres options comme l'installation d'un préfiltre comme première étape de prétraitement, l'utilisation de matériaux de filtre plus fins dans les préfiltres à gravier ou la réduction de l'épaisseur du sable, peuvent offrir **des alternatives d'économie sur les coûts, à évaluer par les études pilotes.**

**Des aspects supplémentaires** sont toutefois à considérer dans la planification et l'exécution de la phase des études pilotes.

- **L'emplacement de la prise d'eau brute** devrait, chaque fois que possible, être le même que la station de traitement prévue. Toutefois, l'alimentation en eau brute pourrait créer quelques problèmes, en particulier quand il est question de pomper l'eau. Dans ce cas, la possibilité d'utiliser l'eau brute provenant d'un autre système d'alimentation en eau mais qui utilise la même source doit être examinée. Une alimentation continue en eau brute est essentielle pour des installations pilotes adéquats. L'acquisition d'un réservoir d'eau brute sera nécessaire si l'eau ne peut être pompée ou fournie de manière continue.
  - **la station pilote devrait être facilement accessible** pendant toute l'année. Le site devrait être protégé contre le vandalisme et le vol et permettre une évacuation facile des eaux de vidange du filtre. La disponibilité d'un petit local pour le stockage des équipements de test sur le terrain, près de la station pilote serait avantageuse.
  - **Le matériel requis pour la station pilote** devrait être disponible au niveau local. Des conduites en PVC ou en béton, d'un diamètre de 30 cm au minimum, peuvent être utilisées pour simuler des préfiltres à gravier verticaux ou des filtres lents à sable. Des réservoirs en ferrociment peuvent aussi servir pour des filtres lents à sable. Les préfiltres à gravier à flux horizontal ont besoin toutefois de la construction de canaux ouverts pour permettre un remplissage adéquat des matériaux du filtre. Des recommandations et des exemples de conception de modèle pilotes sont illustrés en Annexe 5.
  - **Les tests en station** pilote devraient durer plusieurs mois. La période du test sur le terrain devrait couvrir au moins la période des plus hautes turbidités d'eau brute et s'étaler si possible sur toute une année. Pour gagner de l'expérience préliminaire sur le fonctionnement de la station pilote les tests sur le terrain devraient commencer quelques mois avant les pointes de turbidité attendues.
  - **L'exploitation d'une station pilote** doit se réaliser dans des conditions de débit constant. Pour obtenir des résultats concluants du test, des conditions d'exploitation inchangées sont essentielles pendant la période entière d'exploitation du filtre. Puisque le déroulement des tests des filtres lents à sable devrait durer plusieurs mois, l'exploitation parallèle des unités du filtre est recommandée pour l'étude de différentes options de conception.
  - **La station pilote devrait être suivie** par des autochtones formés sur le tas. Une visite journalière devrait conduire à un contrôle du débit dans les filtres, la mesure de la turbidité de l'eau brute et celle des différentes étapes de traitement, aussi bien que le suivi des pertes de charge enregistrées dans le filtre lent à sable. Des analyses supplémentaires de la qualité de l'eau avec des kits de test sur le terrain ou dans un laboratoire local sont incluses dans le programme de suivi. Un programme de suivi est présenté en Annexe 5.
  - **Le rapport du test** sur le terrain présente les résultats du programme de suivi, évalue les données et tire les conclusions pour la conception d'une station de traitement à grande échelle. Le grand nombre de données recueillies seront mieux présentées sous forme de tableaux et/ou des graphiques. Les données sur la qualité de l'eau sont habituellement illustrées graphiquement sur une échelle normale ou logarithmique comme une fonction de temps de filtration sur échelle normale.
- Les tests sur le terrain** dans des stations pilotes ne couvrent pas seulement les questions techniques; **ils doivent aussi se rapporter aux effets secondaires importants suivants:**
- **La présentation du procédé de traitement aux futurs bénéficiaires.** Des profanes ayant peu de connaissance sur les aspects techniques sont souvent

appelés à construire leur propre station de traitement à travers un projet d'auto-assistance. La motivation du travail communautaire peut s'avérer très difficile si les villageois n'ont aucune idée du genre de structure qu'ils sont supposés bâtir. Une station pilote est mieux indiquée pour introduire les équipements éventuels de traitement de l'eau au grand public.

- **La démonstration de l'efficacité du traitement aux futurs consommateurs.** Les villageois sont très motivés pour contribuer avec de l'argent ou en nature à la station de traitement proposée s'ils peuvent voir d'eux mêmes comment la qualité de l'eau change. Ils devraient aussi goûter à l'eau traitée et observer son apparence. Les améliorations dans la qualité bactériologique de l'eau peuvent être démontrées au public en dénombrant les colonies des coliformes développées sur les filtres à membrane avec l'eau brute et l'eau traitée. L'appréciation et l'acceptation de la qualité de l'eau traitée par les consommateurs sont des critères très importants pour une utilisation à long terme de la station de traitement.

- **La formation du personnel de la future station de traitement.** L'implication du personnel local dans la construction, l'exploitation et le suivi de la station pilote sont une excellente opportunité de formation pour l'exploitation future de la station de traitement. L'expérience gagnée avec un filtre pilote est directement transférable à l'exploitation pleine.

**On peut donc conclure que les installations pilotes devraient être menés avec des préfiltres à gravier et des filtres lents à sable dans des zones où l'expérience pratique n'est pas disponible. Les tests sur le terrain sont recommandés particulièrement avec l'eau brute présentant des suspensions hautement stables. Les tests des stations pilotes devraient aussi être menés avant la conception des stations de traitement proprement dites, pour parvenir à un modèle plus économique. Enfin, les tests sur le terrain déterminent la possibilité de traiter l'eau brute et d'éviter des échecs dans l'application à pleine échelle du préfiltre à gravier et le filtre lent à sable.**



Photo 7 Colonne de préfiltre à gravier vertical

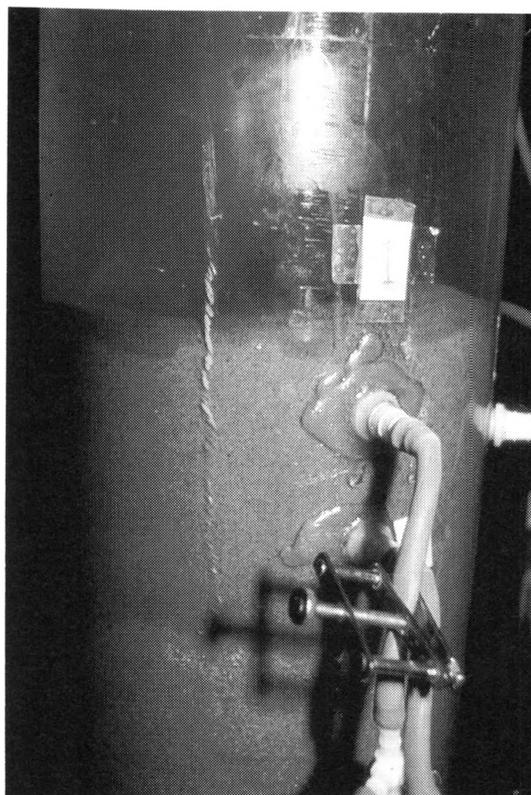


Photo 8 Colonne de filtre lent à sable

## ***Une mine de fer inattendue dans des préfiltres à gravier***



La ville de Damongo en Afrique de l'Ouest qui compte 12 000 habitants avait un système d'alimentation en eau par conduite, avec une capacité journalière de 180 m<sup>3</sup>. Cette capacité était limitée par le fait que la station du traitement d'eau était une unité préfabriquée qui devait être remplacée à cause d'une sérieuse corrosion et de la non disponibilité de pièces de rechange. L'administration régionale de l'eau commença donc à étudier les alternatives à la station préfabriquée. Comme l'expérience pratique avec les préfiltres à gravier et les filtres lents à sable n'était pas disponible dans la région, l'option d'un tel traitement devrait être testé sur le terrain.

Daniel et Charles, deux jeunes ingénieurs enthousiastes étaient responsables de la conception de la station pilote. Deux unités de filtres à flux horizontal de 5m de long furent construites et remplies de gravier provenant de la carrière d'à côté, identifiée comme une source potentielle de matériaux de filtre pour la station de traitement d'une capacité de 1 000 m<sup>3</sup>/j.

Les tests sur le terrain commencèrent aussitôt après la finition de la station pilote. La réduction de la turbidité par les préfiltres était perceptible mais pas suffisante. L'élimination de la turbidité par le filtre lent à sable était bonne et son effluent était de

moins de 5 NTU. Toutefois, la turbidité de l'eau préfiltrée augmenta et la couleur de l'eau ne changea pas. On fit donc venir un chimiste de laboratoire sur le site pour prélever des échantillons et en analyser la qualité.

L'analyse chimique ne révéla pas de faits nouveaux, sauf au niveau de la teneur totale en fer de 0,05 à 0,1 mg/l dans l'eau brute et de 0,2 à 0,6 mg/l dans le filtrat à la sortie des filtres à gravier. Daniel et Charles condamnèrent le chimiste pour son travail mal fait et l'accusèrent d'avoir mélangé les échantillons. L'analyse fut répétée mais produisit des résultats similaires. Rendu perplexes par la situation, les jeunes ingénieurs commencèrent à chercher au niveau des filtres. Comment un filtre peut-il accroître la concentration en fer? La surface rouge du gravier les conduisit à la solution; à savoir que l'eau coulant à travers le filtre a dissout le fer des matières latéritiques.

Les préfiltres fonctionnèrent bien après que l'on ait échangé le gravier contre un matériau filtrant venant d'ailleurs. Toutefois, l'expérience avec «la mine de fer cachée» a épargné le projet des dépenses supplémentaires, car le remplacement de matériau filtrant dans une station de traitement de 1 000 m<sup>3</sup>/j aurait constitué une entreprise coûteuse.

## 12. Critères de choix d'un préfiltre à gravier

Les préfiltres à gravier sont essentiellement utilisés pour séparer les matières solides fines de l'eau; des matières qui sont retenues seulement en partie ou pas du tout dans les bassins de décantation ou les réservoirs de tranquillisation. Les préfiltres à gravier agissent principalement comme des filtres physiques en réduisant la masse de matières solides. Cependant, la grande surface du filtre disponible pour la sédimentation, et les vitesses de filtration relativement faibles facilitent l'adsorption ainsi que les processus chimiques et biologiques. Par conséquent, en dehors de la séparation des matières solides, **les préfiltres à gravier améliorent aussi en partie la qualité bactériologique de l'eau** et, dans une moindre mesure, d'autres paramètres de qualité de l'eau, tels que la couleur ou la teneur en matières organiques dissoutes.

Etant donné qu'il existe plusieurs types de préfiltre (les filtres à la prise, les filtres dynamiques, les préfiltres à gravier à flux descendant ou ascendant, les préfiltres à gravier à flux horizontal), le choix de la méthode de prétraitement la plus appropriée devient difficile. **La sélection d'un dispositif de traitement adéquat devrait être basée sur les critères suivants:**

- les caractéristiques de l'eau brute
- le type d'eau de surface
- la topographie à la prise et au site de la station de traitement
- les aspects économiques
- les aspects de l'exploitation.

Les deux premiers aspects sont en rapport principalement avec la qualité de l'eau brute et sont discutés dans le paragraphe suivant. Les trois derniers critères traitent principalement de la présentation et de l'exploitation de la station de traitement, et sont par conséquent pris en considération dans un second paragraphe.

### 12.1 La qualité de l'eau brute comme critère de choix

**Le type de prétraitement est déterminé pour une grande part par les caractéristiques de l'eau brute.** La fluctuation de la turbidité et des matières solides en suspension est ainsi la donnée la plus importante pour le choix du dispositif de prétraitement.

- **Les niveaux de turbidité maximum et moyen et la concentration de matières solides en suspension** sont d'une grande importance pour la conception des unités de prétraitement. Les informations sur les pointes de turbidité et de concentration de matières solides en suspension sont essentielles. Ces pointes durent-ils quelques heures, des jours ou quelques mois? Les matières solides devraient être caractérisées selon leur décantabilité et leurs tailles. Les particules se décantent-elles facilement dans l'eau ou restent-elles suspendues? Enfin, quelques informations sur la matières organiques contenues dans l'eau seraient utiles.
- **Des données en particulier sur les valeurs de pointe pour la concentration des matières solides,** manquent malheureusement souvent. L'ingénieur sanitaire est ainsi obligé d'évaluer les valeurs des pointes ou, dans les meilleurs cas où une base de données est disponible, il peut utiliser les fiches d'analyse éventuelles avant de concevoir un système de traitement. De simples tests de sédimentation réalisés pendant des périodes de grandes et de moyennes crues de la rivière permettront l'étude des propriétés de décantation des matières solides et la caractérisation de la stabilité des suspensions. La séparation du sable grossier et du limon peut certainement être réalisée dans un puisard d'entrée, tandis que les matières décantables, plus fines peuvent être éliminées dans des bassins de sédimentation. Les préfiltres à gravier séparent bien les matières solides en suspension, mais sont moins efficaces dans l'élimination des matières colloïdales.
- **Le niveau de pollution fécale** devrait aussi être pris en compte dans la conception des unités de prétraitement, car ils sont capables d'améliorer, dans une certaine mesure, la qualité micro-biologique de l'eau. Ils agissent donc comme les premières barrières hygiéniques et réduisent ainsi la charge de micro-organismes pathogènes sur les filtres lents à sable. Le niveau de pollution fécale dans une source d'eau brute peut être **évalué par des analyses bactériologiques;** notamment, par la détermination de la concentration de coliformes fécaux. Ce type d'analyse nécessite un équipement et une expertise spécialisée. De plus, un test de l'eau prélevée au hasard ne représente que la qualité de l'eau au moment de l'échantillonnage. Une bonne caractérisation du niveau de pollution fécale de l'eau nécessite plusieurs échantillons prélevés à différents moments, en particulier pour les eaux de surface courantes. **Avec une étude sanitaire du bassin versant,** on peut grossièrement évaluer l'ampleur de la contamination fé-

risque pour la santé du à la consommation d'eau non traitée	E Coli / Coliforme Fécal	Activités influençant la qualité de l'eau de surface
sans risque	0 (CF/100ml)	bassin versant bien protégé et bien drainé
peu de risque	1 - 10	exploitation agricole extensive dans le bassin versant
risque moyen	10 - 100	exploitation agricole avec habitats dispersés dans le bassin versant
risque élevé	100 - 1000	occupation modérée d'habitants avec utilisation de l'eau en amont de la prise
risque très élevé	> 1000	forte occupation d'habitants avec évacuation d'eau usée en amont de la prise

Tableau 5 Classification des eaux de surface selon les risques pour la santé

cale de l'eau. Cela nécessite une inspection du cours d'eau et des ses affluents, une investigation des pratiques d'assainissement (en particulier l'élimination des matières fécales), une évaluation du taux de dilution pendant l'étiage, ainsi qu'une étude des activités humaines dans le bassin versant. Le Tableau 5 adapté, proposé dans [6], présente un système rudimentaire de classification des eaux de surface en rapport avec les risques liés à l'hygiène. Il peut servir pour une évaluation préliminaire du niveau de pollution fécale de l'eau de surface.

**En bref, les niveaux de turbidité moyen et maximum et la concentration en matières solides en suspension, les propriétés de décantation des matières solides, aussi bien que les périodes de pointes de concentration, sont les données les plus importantes de l'eau brute pour le choix et la conception des unités de prétraitement. Le niveau de pollution fécale doit aussi être pris en considération.**

**Le type d'eau de surface** a aussi un impact important sur les caractéristiques et la quantité de matières solides portées par l'eau. Les petites rivières des plateaux, les grands cours d'eau des plaines et les eaux de surface calmes, diffèrent généralement l'un de l'autre comme indiqué dans la Fig. 17 et décrit ci-après.

■ **Les rivières des plateaux** drainant un bassin versant protégé par une végétation riche et variée, auront probablement une eau claire ou teintée pendant les périodes de moyenne crue. L'eau colorée est le plus souvent observée dans les eaux coulant lentement en contact avec des matières organiques, telles les rivières coulant à travers une forêt dense ou dans

des zones marécageuses, où l'eau emporte des substances humiques, des matériaux en décomposition. La couleur qui est partiellement réduite par les activités biologiques dans les préfiltres à gravier, n'a pas d'influence sur l'exploitation du filtre lent à sable qui peut la réduire d'avantage. Après une période de pluie forte mais courte, les petites rivières des plateaux sont sujets à une augmentation brusque de leurs crues et un changement de la qualité de l'eau. **Les pointes de turbidité et/ou l'accroissement de la couleur sont généralement liés au débit de la rivière.** Ces pointes décroissent avec la baisse du niveau d'eau, dès que les précipitations cessent. Dans de tels cas, des filtres à la prise ou dynamiques peuvent être utilisés pour réduire les valeurs extrêmes des pointes, ou protéger la station de traitement contre les charges élevées de matières solides déversées.

■ **Les grands cours d'eau des plaines** ont un régime différent. Les orages locaux n'affectent pas grandement leur écoulement ou la qualité de l'eau. Par contre la distribution annuelle de la pluie, comprenant les saisons sèches et pluvieuses, a une plus grande influence sur l'écoulement. **Des changements interviennent lentement sur une période de quelques jours à plusieurs semaines, pendant qu'une augmentation des niveaux de turbidité ou des concentrations en matières solides en suspension est enregistrée pendant quelques semaines à quelques mois.** Les fluctuations de la qualité de l'eau, exprimées en termes de rapports entre les valeurs maximum et moyenne, sont souvent plus faibles que dans les rivières des plateaux. Par conséquent, le prétraitement est requis en permanence,

et l'utilisation de préfiltres à gravier, en combinaison avec des filtres à la prise éventuellement, est recommandée. Le choix des préfiltres à gravier dépend, entre autres aspects, du niveau et de la période de haute turbidité ou de concentration de matières solides en suspension. En règle générale, les turbidités modérées peuvent être traitées avec des préfiltres à gravier à flux vertical en série et les turbidités plus élevées avec éventuellement des filtres à flux horizontal.

- **Les eaux de surface calmes** présentent probablement moins de variation dans la qualité de l'eau. L'influent des réservoirs, mares et lacs subissent des processus de traitement naturels. Les matières en suspension se décantent et les micro-organismes meurent avec des temps de séjours accrus. Néanmoins, **des matières en suspension et les matières colloïdales peuvent demeurer en suspension et les algues peuvent croître**, selon le degré d'eutrophisation et l'importance du rayonnement solaire. Pour protéger les unités de filtre lent à sable contre des charges excessives de matières solides fines et des algues, l'utilisation des préfiltres à gravier fins peut être appropriée et nécessaire.

En résumé, les petites rivières des plateaux drainant des bassins versants protégés contre l'érosion contiennent des eaux de faible turbidité qui peut, cependant, s'accroître à des pointes de courte durée pendant des périodes de forte pluie. De telles conditions favorisent l'utilisation de filtres dynamiques et des filtres à la prise. Les grands cours d'eau des plaines sont généralement plus turbides mais moins susceptibles à des soudaines variations dans la qualité - elles changent graduellement en suivant les variations annuelles saisonnières. L'utilisation des préfiltres à gravier, en combinaison éventuelle avec des filtres à la prise, peut offrir une option appropriée de prétraitement de l'eau dans ces rivières. Les matières solides en suspension, les matières colloïdales et les algues des sources d'eau stagnante, nécessitent comme méthode de prétraitement l'application des préfiltres à gravier plus fins.

**La Fig. 43 offre une matrice pour le choix d'un système adéquat de traitement de l'eau de surface.** Le type et la concentration des matières solides, ainsi que le niveau de pollution fécale, sont les critères décisifs pour déterminer le procédé de séparation le plus approprié. Il y a des différences considérables dans les eaux de surface par rapport à ces paramètres de qualité. Cependant, les données disponibles sur ces caractéristiques et valeurs pour une source spécifique sont généralement rudimentaires. Aussi, cette matrice ne fournit

aux ingénieurs que des directives sommaires pour la conception des systèmes de traitement d'eau.

**La conception de préfiltres à gravier et filtres lents à sable peut se faire à partir des valeurs de paramètres de qualité approximatives, c'est-à-dire qu'elle permet des incertitudes par rapport à la qualité de l'eau brute et sa traitabilité.** Des tests supplémentaires permettront une conception plus affinée des unités de traitement. Des tests de décantabilité et de stabilité des matières en suspension, la caractérisation des matières solides selon le type et la taille (les matières inorganiques telles les particules de limon ou d'argile, les matières organiques telles les planctons ou les algues) et leur concentration dans l'eau brute aident au choix de la vitesse de filtration, de la taille du gravier et de la longueur du filtre. De plus, l'eau brute peut contenir d'autres polluants telles la couleur, les matières organiques dissoutes, le fer ou le manganèse, qu'il faut séparer ou réduire. Des tests sur le terrain sont généralement nécessaires pour déterminer le taux d'élimination de ces substances.

## 12.2 Dispositifs types et aspects d'exploitation comme critères de choix

**La conception des systèmes d'alimentation en eau nécessite la prise en considération de la topographie** L'emplacement de la prise, les conditions topographiques du site et les aspects d'exploitation sont les critères essentiels pour la conception des systèmes d'alimentation en eau.

- **Les prises d'eau de surface** sont souvent situées dans des endroits éloignés pour qu'on puisse construire comme recommandé des systèmes gravitaires. L'accès aux sites lointains est souvent difficile, et demande du temps. Ainsi le contrôle et le nettoyage réguliers des installations sont très souvent négligés. Dans ces cas, le prétraitement à la prise est limité à l'élimination de matières solides grossières, tandis que et le traitement en soi s'effectue à la station de traitement, située généralement en aval du réservoir, aussi proche que possible de la zone d'alimentation.
- **La topographie locale** peut favoriser la construction d'un petit canal de dérivation et, en conséquence, l'installation d'un filtre à la prise ou un filtre dynamique. Des conditions favorables du lit de la rivière peuvent aussi permettre la construction de galeries d'infiltration.

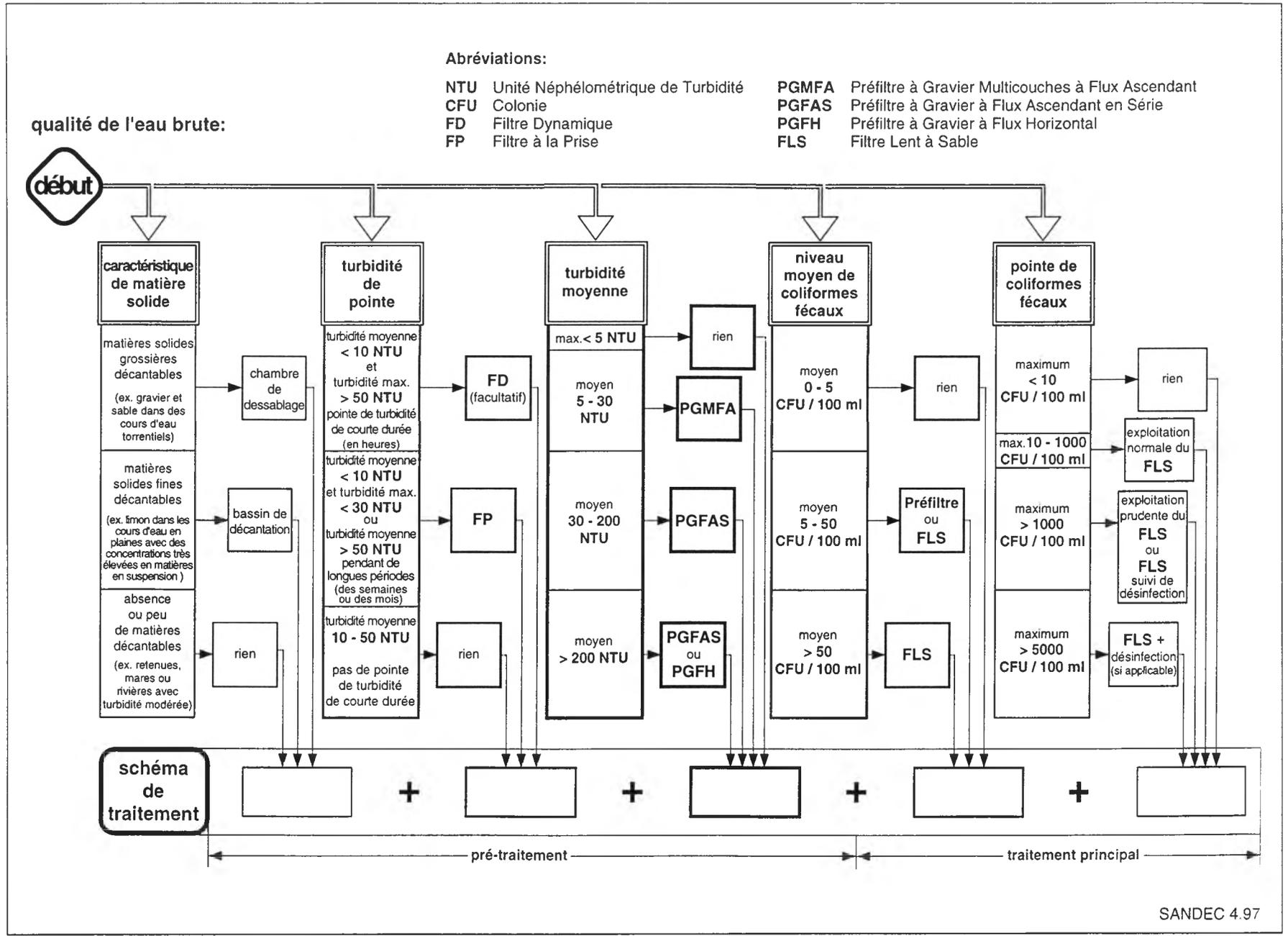
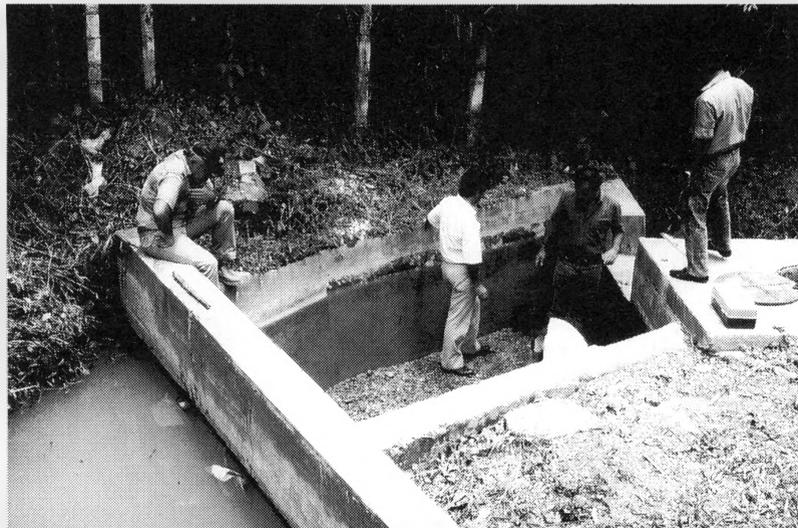


Fig. 43 Algorithme pour la conception des systèmes de traitement d'eau de surface en utilisant la préfiltration et la filtration lente sur sable

## Du gravier peu cher



Fontanero Tulio, l'exploitant du système d'alimentation en eau de Taminango, situé dans la région du sud-ouest de la chaîne andéenne, conduisit notre expédition vers la structure de prise d'eau. Le long de la voie abrupte serpentant à travers des prairies sèches à peine cultivées ou utilisées, nous passâmes des haciendas délabrées abritant quelques vaches du soleil. Bien que l'après-midi était déjà avancé, le soleil dardait toujours. Une vue splendide des collines s'étalait paisiblement sous nos pas et récompensa nos deux heures de marche soutenue. L'étroite voie devint plane après la position avantageuse et conduisit à une étroite vallée couverte de petits arbres et d'arbustes, indiquant la présence de l'eau. Après avoir repris notre souffle (sur le terrain plat), je m'enquis du moment où la population locale a visité la prise pour la dernière fois. « Il y a environ deux semaines », fut la réponse de Tulio, tandis que l'Ingénieur du département déclarait avoir inspecté le site un mois après la reconstruction de la prise, dans le cadre d'un projet d'étude sur le terrain. De doux clapotis annoncèrent la proximité de la source d'eau et, après un dernier saut au-dessus des petits buissons, nous atteignîmes le petit ruisseau. Les travaux de réhabilitation avaient été réalisés de manière adéquate et le filtre à la prise placé dans la rivière comme recommandé. L'eau coulait à travers le système et tout semblait bien marcher. L'Ingénieur

coupa une branche d'arbre pour vérifier le niveau du gravier dans le filtre. Il enfonça doucement la branche dans l'eau turbide et l'abaissa davantage sans jamais atteindre le fond. Au début, tout le monde était surpris, puis embarrassé. L'écoulement à travers les conduites d'entrée fut instantanément arrêté avec deux morceaux de plastique et la boîte du filtre fut égouttée. Le réservoir vidé révéla que le gravier avait été ôté ou volé par un fermier. Nous découvriâmes des crottes de cheval sur le site, un signe clair de brigandage. Le Directeur départemental repoussa son képi à l'arrière et fixa du regard la boîte vide du filtre. Il va falloir des efforts considérables de transport pour remplir de nouveau cette boîte du filtre avec du gravier. Les morceaux de plastique furent ôtés, et l'eau remplit doucement la structure de prise de nouveau avant de recommencer à couler - non traitée - à travers la longue conduite d'alimentation vers le réservoir d'eau de Taminango.

Peu a été dit pendant notre descente, cependant, j'espérais trouver la brouette utilisée récemment pour travailler le béton placée contre le mur d'une hutte délabrée. Toutefois, cela n'aurait pas changé beaucoup la situation. Tulio, qui vit dans le village, ne peut pas surveiller correctement ce filtre à la prise qui est si éloigné.

■ **Les aspects de drainage** devraient être soigneusement étudiés. D'habitude les filtres à la prise fonctionnent avec un déversoir du surplus d'eau brute. Aussi, leur utilisation dans un système d'alimentation en eau brute pompée selon une conception standard (voir Fig. 37) n'est généralement pas la meilleure option. A la place des filtres à la prise sans déversement d'eau brute devraient plutôt être utilisés. De plus, l'exploitation des préfiltres à gravier nécessite une topographie adéquate pour l'évacuation des eaux de lavage. Le site doit permettre des déversements importants des eaux usées sans poser des problèmes d'érosion. Les installations seront dimensionnées pour pouvoir déverser le ruissellement dans un cours d'eau récepteur ou, de préférence, dans un bassin spécialement construit pour le stockage des eaux de lavage.

**Pour résumer, nous pouvons dire que la construction des systèmes gravitaires est recommandée chaque fois que possible, bien qu'il soit souvent nécessaire de réaliser des prises d'eau situées dans des sites éloignés et difficiles à entretenir. Néanmoins, les conditions topographiques favorables devraient être utilisées pour l'installation de filtres à la prise et dynamiques pour réduire les problèmes d'écoulement des eaux usées à la station de traitement; un aspect nécessitant un examen soigneux pour les préfiltres à gravier.**

**Les aspects économiques et d'exploitation** influencent aussi le choix des systèmes de prétraitement. Les coûts de construction sont liés aux coûts d'exploitation. Un entretien régulier accroît la fiabilité du réseau de traitement d'eau.

■ **Les coûts de construction peuvent éventuellement être réduits avec le concept de barrières multiples.** Des unités de prétraitement adéquates favorisent la conception des unités de traitement suivantes à des régimes hydrauliques élevés ou avec une longueur réduite du filtre. **Les coûts de construction globaux de la station de traitement seront ainsi réduits.** En dehors de l'avantage tiré du potentiel de prétraitement naturel des eaux de surface stagnantes ou de l'implantation optimale des prises d'eau de surface, l'utilisation des chambres à gravier, des bassins de sédimentation, ainsi que des filtres à la prise et dynamiques, devraient toujours être pris en compte afin de réduire les dimensions du préfiltre à gravier. Une partie des coûts d'investissement ainsi épargnés, pourrait servir pour les coûts d'exploitation (par exemple: les tailles des unités de traitement sont réduites mais en conséquence, la

fréquence de nettoyage du filtre est augmentée). Toutefois, puisque les coûts supplémentaires pour le nettoyage du filtre ne sont généralement pas importants, on peut envisager la construction des filtres à la prise comme première étape de prétraitement.

■ **Des bassins de sédimentation seront nécessaires si de grosses quantités de matières décantables** sont transportées par l'eau brute. La concentration élevée de matières solides dans l'eau de surface peut être séparée dans une certaine mesure par floculation naturelle (perikinetique), réduisant ainsi la charge de matières solides sur les unités de filtre suivantes. La construction de bassins de sédimentation est recommandée dans ces cas, puisque **le nettoyage du bassin est plus facile que le nettoyage du filtre.** Un bassin de sédimentation peut le cas échéant se convertir facilement en préfiltre à gravier, si le rendement de séparation du bassin de sédimentation est insuffisante.

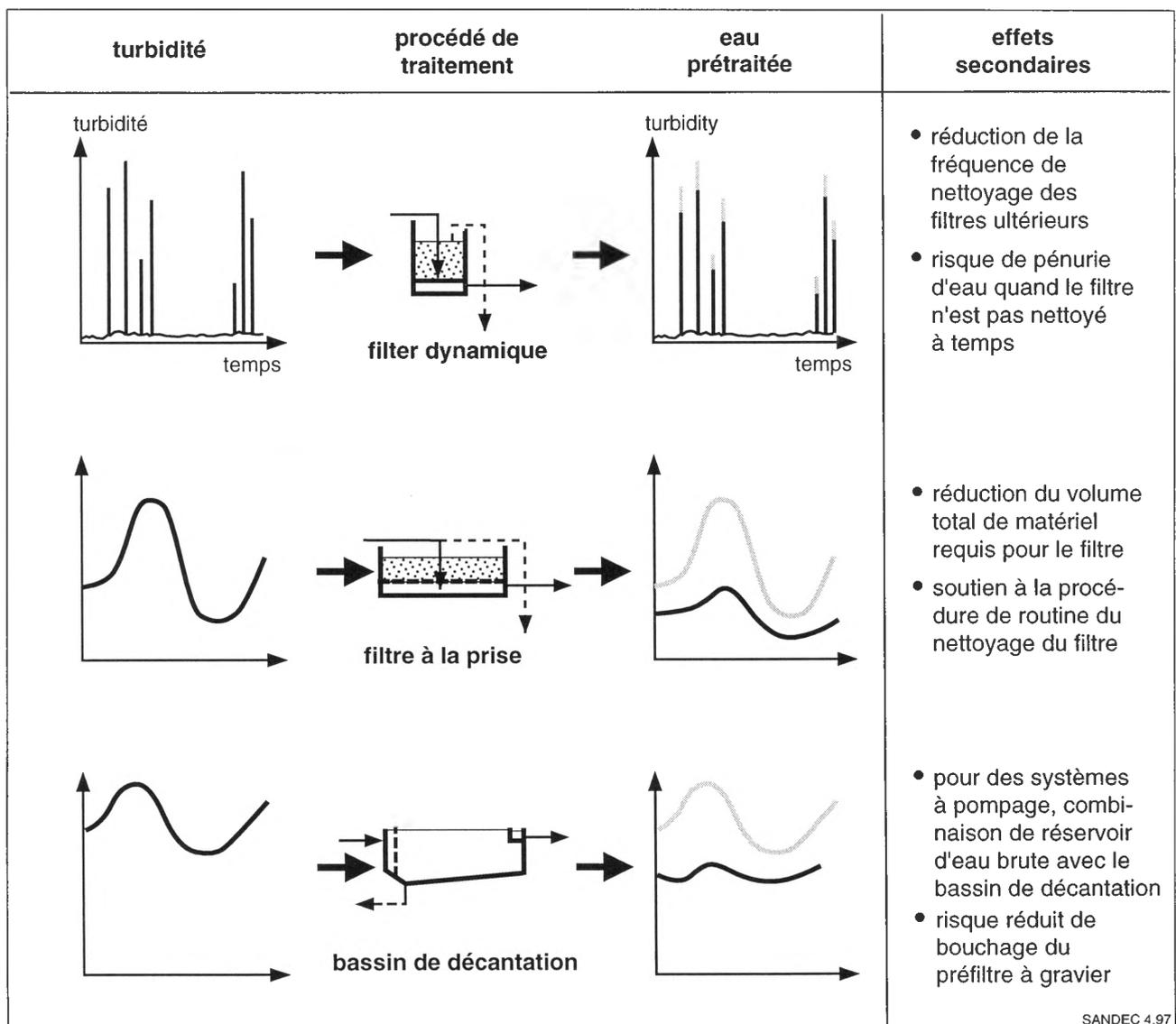
■ **Le nettoyage régulier du filtre** est non seulement important pour restaurer l'efficacité de traitement, mais aussi pour mettre en valeur la responsabilité de l'exploitant et l'encourager à faire son travail. Le nettoyage hebdomadaire que nécessitent les filtres à la prise est une façon de soutenir cet aspect. Enfin, la **demande en eau de lavage** du préfiltre se situe dans l'ordre suivant: les filtres dynamiques, les filtres à la prise, les préfiltres à gravier à flux vertical et horizontal. Ceci pourrait aussi être un facteur décisif pour le choix des dispositifs de prétraitement, si l'eau est rare ou doit être pompée.

**En bref, les coûts globaux peuvent être réduits par une bonne conception du système de traitement utilisant en séquence différentes étapes de traitement. Les bassins de sédimentation et les filtres à la prise sont recommandés comme prétraitement pour réduire les concentrations élevées en matières solides très décantables et filtrables. Les travaux de maintenance de routine sont essentiels pour une bonne performance de la station de traitement. La demande et l'évacuation de l'eau de lavage devront être pris en considération pendant la conception de la station de traitement.**

**L'efficacité de séparation des matières solides dans les bassins de décantation, et les filtres à la prise et dynamiques, est illustrée dans la Fig. 44.** Ces procédés de prétraitement peuvent considérablement améliorer la qualité de l'eau brute ou protéger la station de traitement contre les lourdes charges de boue, à condi-

tion que la nature des matières solides permette une séparation facile dans le bassin de décantation ou une accumulation sur le lit du filtre. **Le prétraitement en deux étapes de préfiltration est généralement** recommandé pour assurer une efficacité du traitement et minimiser les coûts de construction et d'exploitation. La réduction de la charge en matières solides sur le préfiltre à gravier par les filtres à la prise permet un fonctionnement plus long du préfiltre et, en consé-

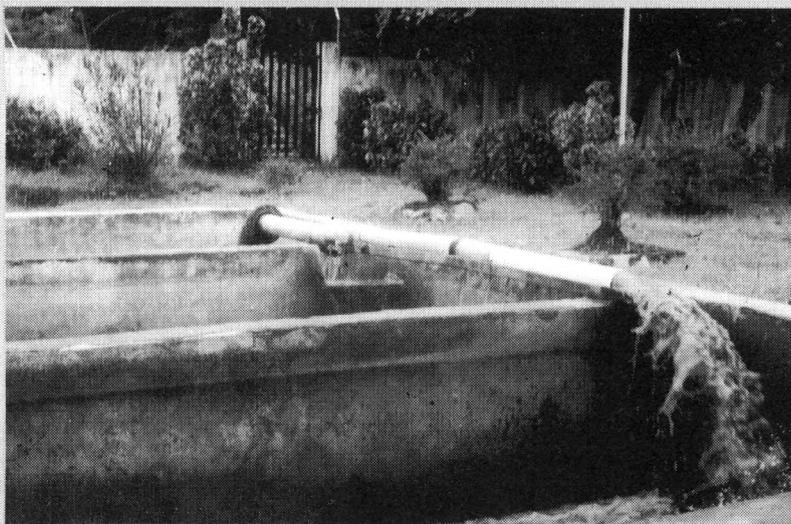
quence, une économie en eau de lavage. Une exploitation plus longue du préfiltre peut aussi favoriser les processus biologiques et ainsi, accroître l'efficacité du filtre par rapport, par exemple, à la réduction véritable de la couleur et des matières organiques dissoutes. On peut augmenter la capacité d'une station de traitement existante par l'installation d'autres filtres à la prise. Les nombreux avantages des filtres à la prise favorisent une plus grande utilisation de ce type de filtre.



SANDEC 4.97

Fig. 44 Le rôle des bassins de décantation, des filtres à la prise et des filtres dynamiques dans le prétraitement de l'eau brute

## **Le bassin de décantation délabré affaiblit le préfiltre à gravier**



*Le village de Plumbon s'étend sur la plaine côtière au nord d'une grande île asiatique. A cause de l'eau souterraine salée, c'est l'eau de surface de la rivière Cimanuk qui est utilisée comme source d'eau brute. Comme le village est situé dans la vallée, l'eau doit être pompée en trois phases, à savoir que l'eau brute est pompée dans un bassin de décantation situé près de la rivière; l'eau pré-décantée est alors montée à la station de traitement comprenant deux préfiltres à gravier et un filtre lent à sable; et l'eau traitée est enfin conduite à un réservoir surélevé alimentant les 3 000 habitants de Plumbon.*

*Le niveau d'eau du Cimanuk monte de 2 m pendant la saison pluvieuse. Pendant cette période, l'eau brute contient des charges très élevées et fluctuantes de matières solides en suspension, avec des pointes de turbidité supérieures à 4 000 NTU. L'érosion extensive occasionne un flux important de boue sur le lit de la rivière, et il est estimé que le Cimanuk crée 10 000 m<sup>2</sup> de nouvelles terres autour de son estuaire chaque année. La prise d'eau brute est fixe et toujours au même niveau. Cela conduit à une charge élevée de matériau décantable en plus des matières solides en suspension, présentes tout le long de l'année.*

*L'eau est pompée dans un bassin de décantation qui est aussi utilisé à des fins d'équilibre entre la première et la deuxième phase de pompage. Au départ, le bassin était 2 m de profondeur, cependant, comme il n'a pas de système de drainage, la boue s'y accumulant n'a jamais été enlevée. Par conséquent, la profondeur de l'eau dans le bassin s'élève à seulement 0,5 m. De plus, le compartiment du premier et du deuxième réservoir est contourné par un conduit conduisant l'eau brute dans la dernière partie de ce «bassin de décantation».*

*Par manque de prétraitement, l'eau brute non traitée est pompée dans les préfiltres à gravier incapables de traiter cette lourde charge de limon. Les filtres sont nettoyés hydrauliquement tous les trois jours; alors qu'ils doivent être nettoyés manuellement après une exploitation du filtre de sept mois. Cette tâche encombrante avait été répétée une seconde fois, après quoi, les exploitants refusèrent d'exécuter ce travail insensé. Pendant ce temps, différentes études sur des alternatives pour l'amélioration du filtre ont été menées par des étudiants à la station de traitement. Pourtant la conception, construction et exploitation appropriée d'un nouveau bassin de décantation est la clé de la réhabilitation du réseau de traitement d'eau de Plumbon.*

## 13. La construction des préfiltres à gravier

**Par principe, les matériaux locaux, la main-d'oeuvre et la participation de la communauté devraient servir chaque fois que possible, dans la construction des réseaux d'alimentation en eau dans les pays en développement.** Les coûts initiaux pourraient être plus élevés que pour les installations préfabriquées ou des systèmes de traitement conventionnels. Cependant, avec la construction des préfiltres à gravier et des filtres lents à sable, les principaux coûts d'investissement reviennent à l'économie locale. De plus, l'utilisation des matériaux locaux et de la main-d'oeuvre locale est également importante, si on tient compte des travaux de maintenance, de réparation et d'extension, puisque ces ressources demeureront disponibles même après l'achèvement de la station de traitement. Les structures du filtre devraient être simples, robustes et d'une bonne finition, pour garantir leur utilisation à long terme et réduire les coûts de maintenance et des réparations ultérieures. Le plan devrait faciliter l'exploitation et la maintenance.

**Le climat local et l'évolution du temps sont des facteurs déterminants du plan de construction.** L'exécution du projet devrait être initiée longtemps avant le déblayage du site et les fouilles. Il serait idéal que l'ingénieur du projet soit appelé par le village après la décision de la communauté, soit pour améliorer la qualité de l'eau qui leur est fournie par le système existant, soit pour construire un nouveau système d'alimentation en eau. La quantité et la qualité des sources d'eau potentielles sont à évaluer. L'ingénieur devrait savoir que **la station de traitement est souvent la composante la plus complexe d'un système d'alimentation en eau.** Une fois encore, nous nous référons au dicton selon lequel «le meilleur traitement est l'absence de traitement». L'utilisation d'une source souterraine éloignée au lieu de l'eau de surface proche devrait être analysée. Si la communauté doit compter sur l'eau de surface, le projet de traitement devra commencer par un suivi de la qualité de l'eau de surface, en particulier pendant la saison pluvieuse. La saison sèche qui suit servira à la conception de la station de traitement, à l'estimation des coûts de construction et à s'assurer des sources de financement. L'organisation des travaux de construction et les derniers préparatifs devraient commencer pendant la prochaine saison pluvieuse et avant les travaux de construction proprement dits qui seront initiés à la prochaine saison sèche, c'est-à-dire deux ans après que la communauté ait sollicité un soutien pour l'amélioration de son système d'alimentation

en eau. La préparation de ce projet dépend largement de la manière dont la communauté discute le projet, prend sa décision et organise sa contribution en espèce et en nature. **La préparation du projet prend très souvent plus de deux ans,** un délai de temps qui n'est pas perdu, si le projet peut être réalisé sur une base communautaire solide. Une bonne organisation sur le site et la disponibilité des matériaux de construction auront un impact positif sur la progression des travaux de construction, qui ne peuvent souvent être exécutés qu'en saison sèche, lorsque la participation de la communauté est plus probable et les conditions climatiques favorables. Par conséquent, les grandes structures peuvent nécessiter deux saisons sèches supplémentaires ou plus... le calcul du temps total requis par un projet est laissé à l'initiative du lecteur.

**Une conception solide, une construction de bonne qualité et le développement du sentiment de propriété par la participation de la communauté, sont les conditions préalables nécessaires à la réalisation d'une station de traitement bien exploitée.** Tout dépendra de la disponibilité des compétences, de la qualité des matériaux utilisés et de la supervision pendant la construction. Un certain nombre de problèmes clés doit être pris en considération pendant la phase de planification et de conception, à savoir le type de matériaux locaux disponibles, les techniques de construction locales, telles les connaissances en structures de maçonnerie, l'accès au site du projet, ainsi que les conditions topographiques et du sol. Un chef de chantier de construction expérimenté et des inspections régulières du site par l'ingénieur de conception contribueront à améliorer la qualité des installations. Une attention particulière devrait être accordée au mélange, au compactage et au séchage du béton, puisque cela détermine en grande partie la solidité, l'étanchéité et la durabilité des installations. Etant donné qu'un système d'alimentation en eau devra durer plus de deux générations pendant lesquelles les structures sont susceptibles d'être exposées à des conditions climatiques hostiles, **des installations de bonne qualité sont absolument essentielles.**

### 13.1 Le bassin du filtre

**Les structures du filtre sont généralement situées en dessous ou à même le sol, comme illustré dans le Fig. 45.** Le choix de l'un ou de l'autre dépend des caractéristiques du sol, des matériaux de construction disponibles et du profil hydraulique. Sur une surface plate, l'écoulement gravitaire nécessite souvent que les struc-

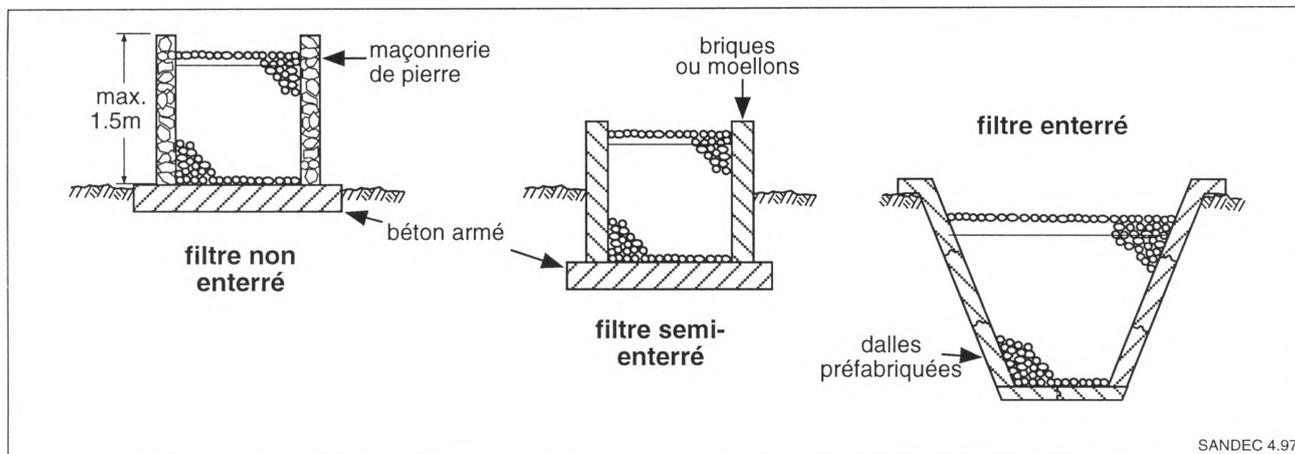


Fig. 45 Emplacement et matériaux des bassins des préfiltres à gravier

tures soient placées en dessous du sol. Ceci risque cependant de poser quelques problèmes ou des coûts supplémentaires pour un drainage adéquat des eaux de lavage. Un filtre partiellement enterré nécessitera moins de creusage et offrira du support aux murs latéraux avec la terre tout autour.

**Les préfiltres à gravier sont d'habitude des installations peu profondes** d'environ 0,60 m (filtres à la prise et dynamiques) à 1 à 2 m (préfiltres à gravier). La taille du bassin du filtre dépend de la capacité hydraulique (voir aussi la Section 9.4) et de la longueur du filtre. Les bassins des filtres ne devraient être ni trop grands (la surface maximum des préfiltres à gravier à flux vertical devrait s'élever à 25 - 30 m<sup>2</sup>, la section maximum des préfiltres à gravier à flux horizontal est d'environ 4 - 6 m<sup>2</sup>), pour éviter des problèmes avec des débits d'évacuation trop élevés des eaux de lavage; ni trop haut (de préférence autour de 1 m) pour permettre un retrait facile du matériau du filtre pendant le nettoyage manuel.

**Une tranchée creusée dans un sol imperméable, tels les sols argileux ou latéritiques, présente une solution de faible coût pour le bassin du filtre.** La tranchée comprend des murs latéraux en pente qui ne dépasse pas la pente stable pour sols saturés d'eau (pente inférieure à 1:1). Le revêtement de la fondation et des murs latéraux empêche le matériau propre du filtre de se mélanger avec la terre tout autour. Une couche de sable, des dalles préfabriquées, des revêtements appliqués in situ (revêtement de béton, ferro-ciment, mortier de chaux) ou dans des circonstances exceptionnelles (exemple des camps de réfugiés), des revêtements plastiques préfabriqués ou des géotextiles, sont les matériaux les plus appropriés.

**Dans les sols perméables ou lorsque le filtre est installé au-dessus du sol, la construction d'un bassin étanche devient nécessaire.** Dans de tels cas, il est recommandé de construire des murs latéraux verticaux et d'utiliser des briques en terre cuite avec un revêtement en mortier de ciment, des parpaings, ou du béton armé. La fondation et le fond du bassin ont besoin d'une attention spéciale, pour éviter des fissures dues au tassement irrégulier du sol. Enfin, des joints de dilatation étanches devront probablement être construits pour les longs bassins de filtres, en cas de préfiltres à gravier à flux horizontal. Les longs bassins de filtre, reposant sur un terrain difficile, peuvent être divisés en deux unités séparées ou plus, avec des tuyaux flexibles reliant les compartiments. Des unités en forme de U peuvent aussi réduire la longueur totale des bassins de filtre. Dans un tel plan, l'entrée et la sortie doivent être placées du même côté du filtre, et la boîte divisée en deux parties égales par une cloison longitudinale.

**L'étanchéité du bassin de filtre doit être testée,** de préférence avant de le remplir du matériau du filtre. Les fuites peuvent être détectées et réparées plus facilement dans une structure vide. Une attention particulière doit être accordée aux joints au point de rencontre mur-sol ou aux bassins d'entrée et de sortie adjacents au bassin du filtre. Les joints étanches nécessitent des bouchons d'eau en PVC ou en caoutchouc. Les autres points faibles dans la structure sont les joints des tuyaux, nécessitant probablement un renforcement supplémentaire pour prévenir les fissures sur les murs, et des anneaux de suintements contre les fuites.

## Chaque jour et chaque kilogramme comptent



*J'étais sur le point d'aller prendre mon déjeuner lorsque le téléphone de mon bureau sonna. Pierre, un ancien collègue de travail, était au bout du fil. Avec le même enthousiasme comme dans des situations critiques, il m'informa que son service a reçu un contrat avec le Corps d'Aide en cas de Catastrophe, pour concevoir et construire un système d'alimentation en eau pour un camp de repeuplement en Afrique de l'Est. Le camp devrait abriter 20 000 réfugiés et les infrastructures devraient consister en de simples abris, un centre de nutrition, un petit hôpital, de l'approvisionnement en eau et des sanitaires, à mettre en place aussi tôt que possible. Pierre avait besoin de conseils techniques sur la conception d'une station de traitement d'eau devant remplir certains critères spécifiques de construction, à savoir que le temps d'installation et le poids des matériaux de construction devaient être réduits au minimum.*

*Après l'appel, je pris mon repas dans le train en direction de la capitale où je rencontrai Pierre à son bureau en début d'après-midi, pour discuter du projet d'alimentation en eau. L'eau brute devait être pompée d'un grand canal d'irrigation dont la qualité de l'eau était inconnue mais paraissant turbide. Le ciment est plutôt cher et presque rare dans ce pays. Nous nous assimes entre des plans, des rapports et des ordinateurs, à nous observer en attendant une idée de génie. Pendant ce temps, l'eau d'un petit biotope dans le jardin reflétait le soleil de l'après-midi chaud de l'été. Pierre devint soudainement enthousiaste de nouveau et proposa d'utiliser la «technique de construction du biotope». Le reste de la conception fut achevé en un temps record.*

*Deux semaines plus tard, Toni, un volontaire du Service de Secours et chef de chantier de construction, était assis dans un avion cargo en direction de l'Afrique. L'avion transportait également un certain nombre de grandes feuilles plastiques et différents accessoires en plastiques non disponibles dans le pays de sa destination. Quelques temps après son arrivée, Toni commença à construire la station de traitement, avec environ 100 ouvriers temporaires, et en six semaines, la station de pompage, deux bassins de décantation, quatre préfiltres à gravier à flux horizontal et le réservoir d'eau traitée étaient mis en place. Les réservoirs et les filtres étaient conçus comme des bassins en terre avec des murs inclinés et des barrages en terre constitués de sacs remplis de terre. Les bassins furent ensuite revêtus avec les feuilles de plastique préfabriqués. Des conduites perforées furent installés dans les préfiltres à gravier pour permettre le nettoyage hydraulique du filtre. Des essais de la station de traitement révélèrent une efficacité satisfaisante, c'est-à-dire que la turbidité de 1 000 à 2 000 NTU de l'eau brute a été réduite de moitié par les bassins de décantation, et la turbidité de l'effluent des préfiltres à gravier était enregistrée à 5 à 20 NTU.*

*L'infrastructure du camp de réfugiés fut remise au Commissaire local pour les Réfugiés. Cependant, des disputes politiques sur la réalisation et l'utilisation du camp commença entre les pays impliqués, quelques temps après. Finalement, 5 000 réfugiés s'installèrent presque deux ans après l'achèvement du camp et cela rappela à Toni une expérience qu'il a eue pendant la construction. Un chef de chantier local lui avait dit: «Tu as une montre mais moi, j'ai le temps...».*

## 13.2 Le matériau filtrant

**Deux caractéristiques essentielles d'un matériaux du filtre est la présence d'une grande surface spécifique** pour améliorer le processus de sédimentation qui a lieu dans les préfiltres, **et une porosité élevée** pour permettre l'accumulation des matières solides séparées. D'une manière générale, **tout matériel inerte, propre et insoluble, remplissant les deux critères ci-dessus, peut être utilisé comme matériau filtrant.** Les tests de filtration ont révélé que ni la rugosité, ni la forme ou la structure du matériau du filtre n'ont une grande influence sur l'efficacité du filtre [10].

Les matériaux suivants peuvent donc être utilisés comme **matériaux filtrants**:

- **du gravier** provenant du lit d'une rivière ou du sol
- **des cailloux ou rocs** concassés provenant d'une carrière
- **des briques en argile cuites et concassées**
- **du matériau en plastique**, soit des copeaux ou des modules (utilisés dans les filtres biologiques) peuvent être utilisés, s'ils sont disponibles localement. Une attention doit être accordée dans ce cas aux forces de soulèvement de l'eau
- **du charbon si possible**, bien qu'il y ait là un risque de désintégration du matériau pendant le nettoyage; il ne doit être utilisé que dans des cas spéciaux (exemple, pour l'élimination de matières organiques dissoutes)
- **les fibres de noix de coco si possible**; à utiliser cependant avec précaution à cause des risques qu'ils parfument l'eau pendant longtemps.

**Le gravier est le matériau de filtre utilisé le plus couramment**, mais il a été remplacé par des briques cuites concassées dans les préfiltres à gravier à flux horizontal construits par le Projet de Santé du Nil Bleu au Soudan [55], par des fibres de palmier appelés «ijuk» dans un projet de préfiltre à gravier en Indonésie [57], et par des matériaux plastiques, dans des tests de laboratoire à l'Université de Newcastle en Angleterre [44]. Le Tableau 6 montre que l'efficacité des briques et des matériaux plastiques est similaire à celle du gravier en matière de réduction de la turbidité, tandis que les fibres de palmier ont une meilleure performance en la matière que le filtre à gravier. La plus grande porosité (92% contre 37%) responsable de la réduction de la vitesse d'écoulement effective, est certainement l'explication de cette observation. Par contre des problèmes d'odeur et de goût se sont posés lors de l'utilisation des fibres de palmier du au baisse considérable de la concentration d'oxygène dissout. Il est donc clair que des investigations plus détaillées sont toujours nécessaires avant l'utilisation à long terme des fibres de palmier ou d'autres matériaux remplaçant le gravier.

**Les préfiltres à gravier sont d'habitude composés de trois couches dont les tailles varient du grossier au fin.** Les matières solides grossières aussi bien qu'une grande partie des matières fines en suspension, sont éliminées par la première couche du filtre. Etant donné qu'un grand volume de pore est nécessaire dans cette partie du filtre, il est préférable de placer le matériau grossier sur une longueur considérable du filtre. Le matériau suivant sera plus fin et sur une longueur plus courte. La dernière couche du filtre, d'une longueur limitée, devrait assumer seulement une fonction de po-

projet	Réduction de la turbidité (taille du matériau filtrant)	
	Gravier	différents matériaux filtrants de rechange
briques cuites BNHP/Soudan [55]	<b>87 %</b> (20-30, 15-20 et 5-10 mm)	<b>77 %</b> (briques 30-50, 15-20, 5-10 mm)
fibre de palmier* Plumbon/Indonésie [57]	<b>39 %</b> (16-25 mm)	<b>67 %</b> (fibre)
matériau plastique Université de Newcastle [44]	<b>92 %</b> (briques concassées 30-50 mm; gravier 14-18 et 5-9 mm)	<b>94 %</b> (anneaux Ø 38 mm tubes Ø 30 mm bouchon de 5 mm de largeur)

\* seul le premier compartiment du filtre en est rempli

Tableau 6 Performance relative du filtre avec différents matériaux filtrants (tests parallèles)

lissage, comme elle est supposée éliminer les dernières traces de matières solides très fines en suspension.

**Puisque l'efficacité du filtre s'accroît avec la diminution de la taille du matériau du filtre, l'on est tenté d'utiliser le matériau le plus petit possible.** Cependant, la technologie du préfiltre à gravier nécessite du matériau grossier comme le dénote son nom. Le matériau le plus fin ne devrait pas dépasser les 4 mm, pour faciliter le nettoyage hydraulique. Le filtre dont le matériau est trop grossier a cependant une plus faible efficacité et nécessitera par conséquent des longueurs plus importants, pour réaliser la même réduction de turbidité. Comme déjà illustré par la Fig. 31, **l'utilisation d'au moins deux ou généralement trois matériaux de tailles différentes résulte en un filtre économique avec une exploitation adéquate.**

**Le Tableau 7 donne quelques valeurs guides sur la taille et la longueur des différentes couches du filtre.** Ces directives ne doivent pas être suivies de manière rigide. Les aspects pratiques, telle la disponibilité de matériau spécifiquement trié d'une carrière, sont plus importants. Si du matériau bien trié n'est pas disponible, on peut également tamiser le gravier sur le site de construction avec une toile métallique ou avec des plateaux en acier perforés en guise de tamis.

Pendant la phase initiale de développement de la technologie du préfiltre à gravier à flux horizontal, l'Institut Asiatique de Technologie (AIT) à Bangkok a recommandé l'installation de six à huit couches de gravier de petite taille [58]. La taille de gravier devrait être réduite par la

suite de 20 mm à 2,5 mm puis augmentée de nouveau jusqu'à 25 mm. En réfléchissant, il n'y a pas de raison que la plus petite taille de gravier soit située au centre du lit du filtre, étant donné que les couches de gravier suivantes ont, par leur nature, une plus petite efficacité de réduction.

**Le matériau filtrant utilisé pour les préfiltres à gravier est nécessairement propre et libre de tout matériau organique.** Il est par conséquent important de laver les agrégats soigneusement, afin d'ôter toutes les impuretés de la surface du matériau. Si cette recommandation n'est pas suivie, la qualité de l'effluent du préfiltre à gravier sera médiocre et il en résultera un colmatage rapide du filtre lent à sable.

**Les différentes couches du filtre devraient être séparées l'une de l'autre, pour éviter le mélange des agrégats pendant le nettoyage manuel du filtre.** Les matériaux d'un préfiltre multicouches à flux ascendant sont de préférence séparés par une toile métallique plastique, alors que dans les préfiltres en série les différentes boîtes de filtre jouent le rôle de séparateurs du filtrant. Des cloisons perforées sont utilisées à cet effet dans les préfiltres à gravier à flux horizontal. Des murs en briques cuites ou en bloc de ciment, avec des joints verticaux ouverts, conviennent mieux, pour séparer les couches du filtre. La surface totale des joints ouverts devrait s'élever à 20-30% de la section du filtre et être répartie d'une manière égale sur toute la surface transversale, pour maintenir un écoulement régulier à travers le préfiltre à flux horizontal. Des briques ou parpaings perforés préfabriqués (trous de 3 cm de diamètre, espacement de 5 x 5 cm) ou des débris pour

type de matière solide	vitesse de filtration $v_f$	3 différentes tailles de gravier	longueurs des 3 différentes couches du filtre		
			préfiltre multicouches à flux ascendant	préfiltre en série à flux ascendant	préfiltre à gravier à flux horizontal
matières décantables	0.6 - 1 m/h	16 - 24 mm 12 - 18 mm 8 - 12 mm	40 - 80 cm 20 - 30 cm 20 - 30 cm		
matières en suspension	0.4 - 0.8 m/h	12 - 18 mm 8 - 12 mm 4 - 8 mm	40 - 60 cm 30 - 40 cm 30 - 40 cm	60 - 120 cm 60 - 120 cm 60 - 120 cm	200 - 400 cm 100 - 300 cm 50 - 150 cm
plancton, algues	0.3 - 0.5 m/h	8 - 12 mm 4 - 8 mm 2 - 4 mm	30 - 50 cm 30 - 50 cm 30 - 50 cm		

Tableau 7 Directives sur la taille et la longueur des matériaux filtrants pour différents types d'eau brute

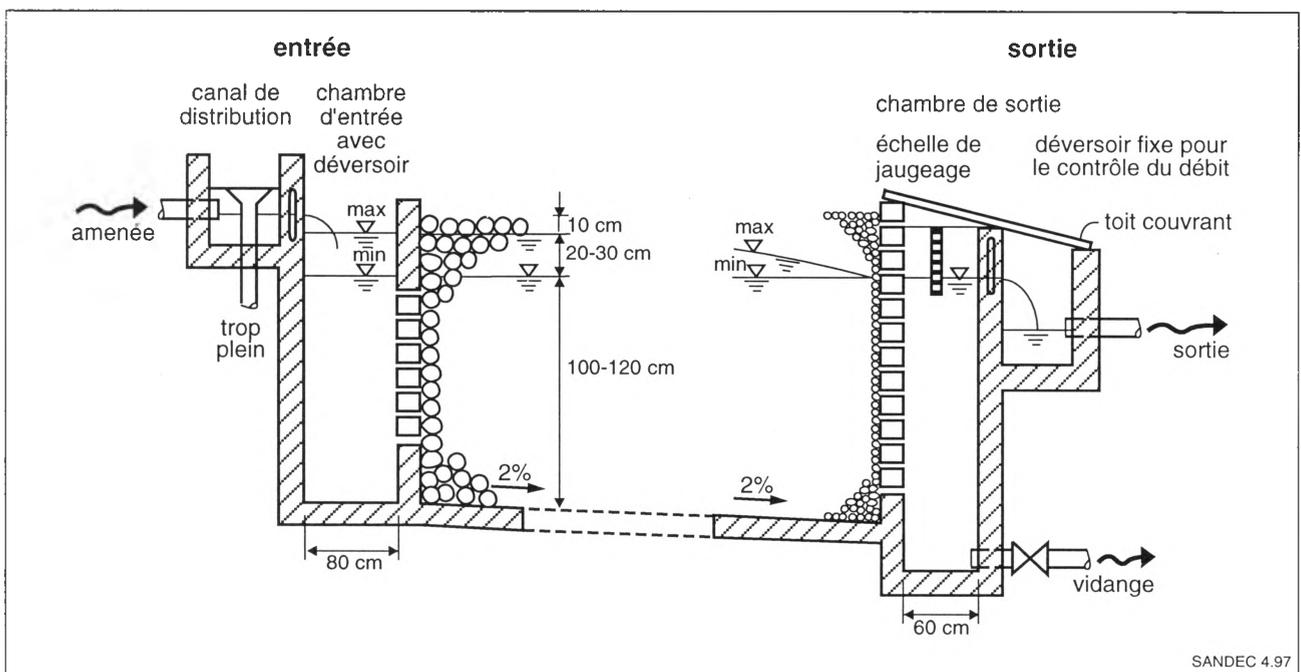
raient être installés au lieu des joints ouverts. Avec les filtres à cloisons libres ou faibles, les différentes sections du filtre doit être remplies simultanément en couches, avec le matériau filtrant, pour éviter l'effondrement des cloisons.

### 13.3 Les structures d'entrée et de sortie

**Les structures d'entrée et de sortie sont nécessaires pour régler l'écoulement, répartir et extraire l'eau d'une manière régulière et contrôler le niveau de l'eau dans le filtre.** L'entrée, et de préférence, la sortie également, sont équipées de déversoirs en V, pour le contrôle des débits, dans le cas où une hauteur de déversement d'environ 20 à 30 cm peut se réaliser en fonction du profil hydraulique de la station de traitement. Le déversoir en V à la sortie peut être omis dans les stations de traitement avec une petite charge hydraulique, et remplacé par une conduite d'effluent, qui maintiendra le niveau de l'eau dans le filtre à une hauteur minimale. **Un contrôle du débits permettant des ajustements précis devrait toujours être installé à l'entrée des préfiltres à gravier.** Un contrôle du débit à la sortie du filtre n'est pas recommandé, car les effets d'eau en retour créent des difficultés d'ajustement du débit. Un déversoir à l'entrée peut contrôler la perte de charge, tandis que l'accroissement du niveau d'eau dans la boîte d'entrée située après le déversoir indique le l'évolution de la résistance dans le filtre.

**Une répartition égale de l'écoulement à travers le lit du filtre est réalisée soit par un radier équipé de trous, soit par des conduites perforées dans les préfiltres à gravier à flux ascendants; et par une chambre d'entrée avec une cloison perforée, dans les préfiltres à gravier à flux horizontal.** La Fig. 46 illustre les structures d'entrée et de sortie d'un préfiltre à flux horizontal. Le milieu de la cloison proche de la chambre d'entrée est perforé et un mur plein en bas et en haut empêche les matières solides grossières décantées, ou les matières flottantes, de pénétrer dans le filtre. La largeur minimum de la chambre d'entrée devrait être de 60 à 80 cm pour le retrait facile des matières décantées. Une chambre de sortie semblable est installée dans les préfiltres à gravier à flux horizontal, du côté de l'effluent.

Les ouvertures dans la cloison après la dernière couche du filtre sont réparties sur l'ensemble de la section du filtre. **Il est important de protéger l'eau pré-traitée contre la croissance des algues ou contre la pollution de l'air.** A cet effet, et pour éviter l'éclosion de moustiques, les préfiltres à gravier à flux horizontal doivent être remplis jusqu'à environ 30 - 40 cm au-dessus du niveau du déversoir de l'effluent avec du matériau de filtre et la chambre de sortie doit être couverte. Dans les préfiltres à gravier à flux ascendants, la conduite de l'effluent, située à peu près à 5 cm au-dessus du lit du filtre, contrôle le niveau de l'eau. Cette surface libre de l'eau du filtre devrait aussi être protégée par une couche de gros cailloux (environ 50 à 80 mm de diamètre, 20 - 30 cm de hauteur) ou par un couvercle mobile.



SANDEC 4.97

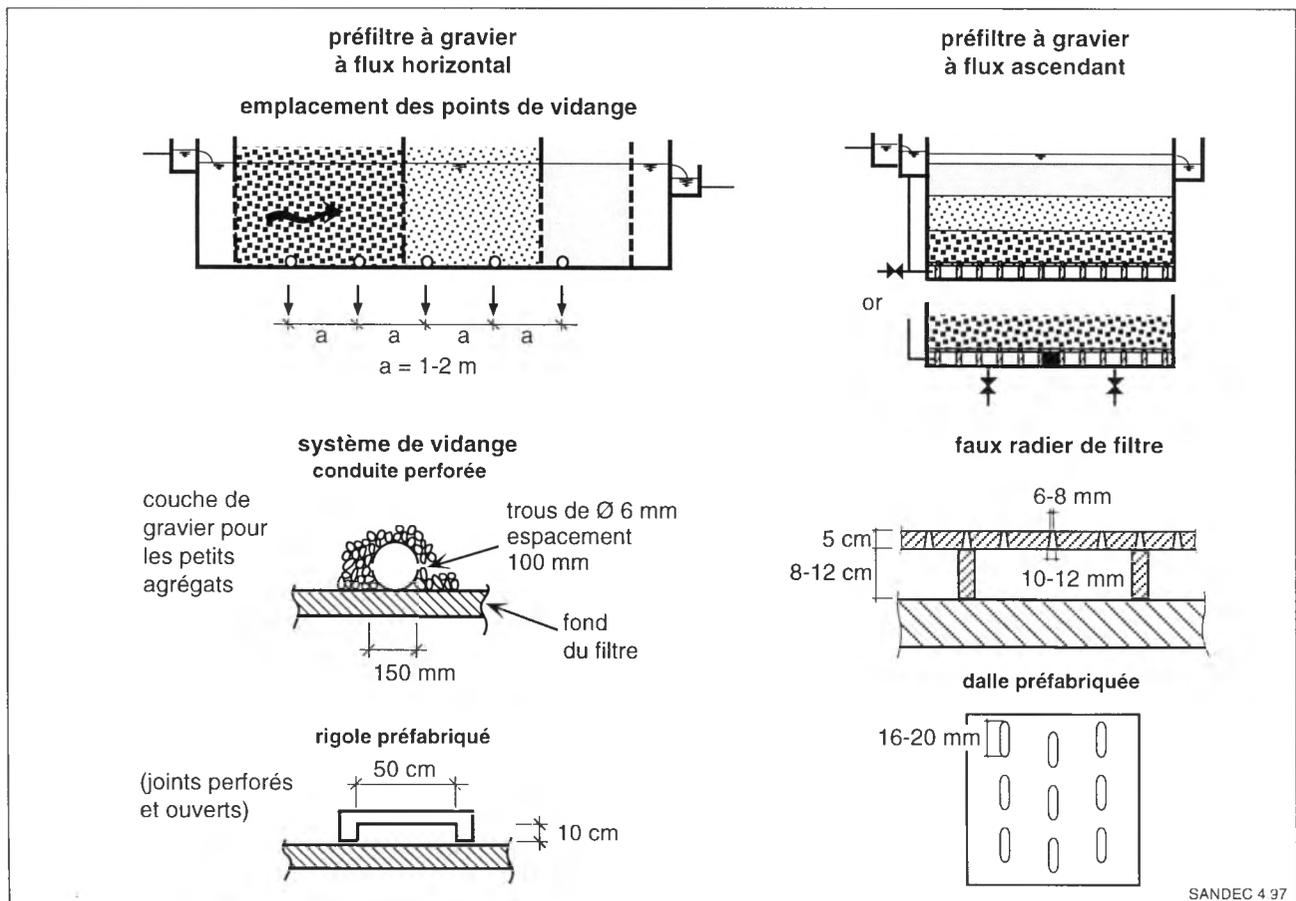
Fig. 46 Les structures d'entrée et de sortie d'un préfiltre à flux horizontal

### 13.4 Le système de drainage

Les préfiltres à gravier peuvent être nettoyés soit hydrauliquement, soit manuellement. Le nettoyage hydraulique du filtre nécessite des systèmes de drainage avec une capacité hydraulique élevée, et capable d'extraire l'eau de lavage de manière uniforme à partir du lit du filtre. La Fig. 47 contient divers plans de drainage. **L'installation d'un radier perforé est la meilleure option pour les préfiltres à gravier à flux vertical.** Des parpaings d'environ 10 cm de hauteur soutiennent le fond perforé du filtre fait de dalles d'à peu près 5 cm d'épaisseur et des perforations de 6 à 8 mm de diamètre. Ces dalles sont généralement installées avec des joints de 4 à 8 cm de largeur. **Des conduites ou des caniveaux de drainage perforés doivent être utilisés dans les préfiltres à gravier à flux horizontal** et pourront être une alternative possible au radier de filtre dans ces préfiltres. Un radier de filtre ne peut pas être utilisé dans des préfiltres à flux horizontal car il y a de fortes chances de courts-circuits. Par conséquent, des conduites de drainage perforées et des conduites souterraines sont à installer tous les 1 à 2 m, perpendiculairement à la direction de l'écoulement. Les filtres à la prise et dynamiques étant des filtres de surface,

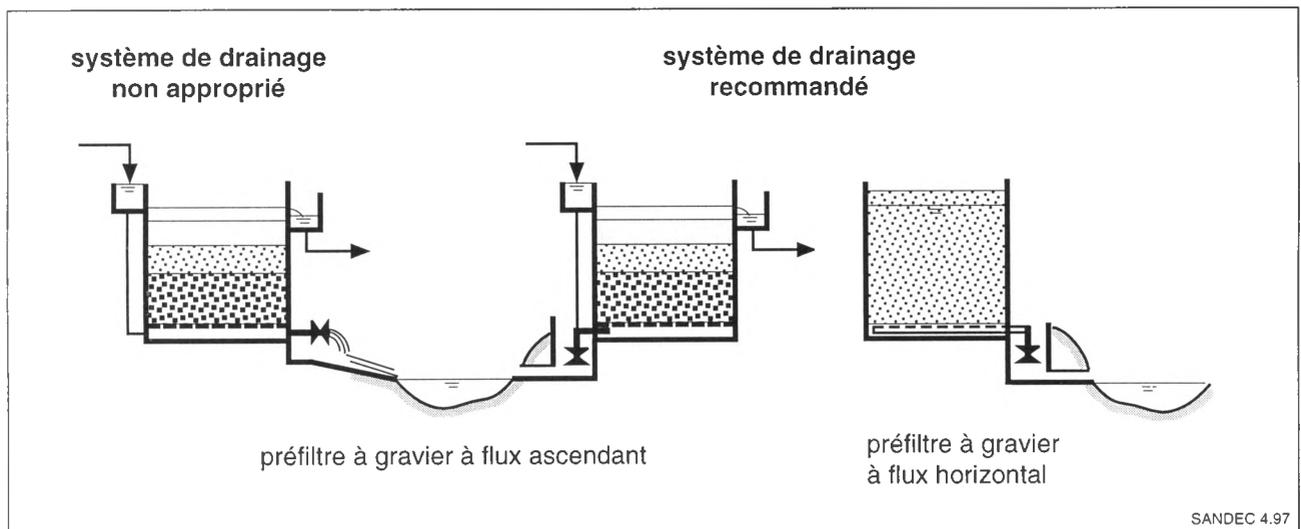
ils ne nécessitent pas des installations de drainage avec capacité hydraulique élevée, car la boue qui s'accumule généralement au-dessus du lit du filtre est nettoyée manuellement.

**Les conduites et les instruments d'arrêt sont nécessaires pour le nettoyage hydraulique du filtre et pour la vidange complète du bassin filtrant.** De grandes conduites de 150 à 250 mm de diamètre sont nécessaires pour un nettoyage hydraulique efficace. La capacité hydraulique de ces installations devrait permettre une vitesse initiale de drainage de 45 à 90 m/h. La sortie des tuyaux devrait être située au niveau le plus bas possible, afin d'utiliser d'une manière optimale la charge hydraulique disponible. Pour des raisons de coût, ces conduites de drainage à grand diamètre devraient être aussi courtes que possible et fixées fermement aux structures, afin de soutenir les pressions dynamiques considérables générées par le cycle de nettoyage. Un trou d'inspection, comme indiqué dans la Fig. 48, peut être utilisé comme lien de communication entre le fond du filtre et la conduite de drainage pour réduire la longueur des conduites de drainage hydraulique. Par contraste avec ces gros tuyaux, de petits tubes de 1 à 2 pouces de diamètre, scellés par des ajutages, sèche-



SANDEC 4 97

Fig. 47 Plan de différents systèmes de drainage pour les préfiltres à gravier



SANDEC 4.97

Fig. 48 Le nivelage du système de drainage

ront complètement les différents compartiments (les chambres d'entrée et du sortie, et la boîte du filtre) du préfiltre à gravier. Les petites structures peuvent aussi être séchées à l'aide de seaux ou d'un tube utilisé en guise de siphon.

**Des instruments d'ouverture rapide sont requis pour initier un cycle rapide de nettoyage hydraulique,** afin de ne pas perdre trop d'eau de lavage pendant le nettoyage. **Ces instruments devraient être simples à concevoir, robustes et faciles à manipuler.** A long terme, ils doivent être étanches et équipés d'instruments d'arrêt pour arrêter le processus de drainage. L'utilisation de vannes papillon est la meilleure option mais la plus chère. Pour réduire les coûts de construction, différents modèles locaux d'instruments d'ouverture rapide ont été développés, comme illustré dans la Fig. 33. Un bon exemple de technologie appropriée est le couvercle modifié de boîte de lait, développé par CINARA en Colombie. ZHAS en Chine réussit à utiliser un robinet à boisseau conçue sur place, installée dans une boîte en acier et Helvetas au Cameroun applique des bouchons soigneusement formés et fermement installées, maintenues par une barre amovible.

**Enfin, des structures pour le drainage rapide et pour l'évacuation sans danger de l'eau de lavage doivent être réalisées.** L'eau de lavage est généralement déversée dans un canal ouvert utilisé pour la conduire à une eau de surface proche ou à une petite mare utilisée pour le stockage intermédiaire. La construction d'une petite lagune est recommandée pour récupérer les matières solides évacuées du filtre, pour une utilisation éventuelle dans l'agriculture. Le déversement direct de cette eau dans une eau de surface stagnante peut gra-

duellement envaser le réservoir et affecter négativement la qualité de son eau.

### 13.5 Les structures de nettoyage du gravier et du sable

**Le matériau du filtre doit être soigneusement lavé avant de remplir les préfiltres à gravier et les filtres lents à sable.** Le sable et le gravier devront être libérés de toutes matières organiques, de la boue et des particules d'argile, car ces impuretés causent de sérieux problèmes de fonctionnement. D'une part la matière organique peut se décomposer et affecter le goût et l'odeur, et d'autre part les particules évacuées lentement des filtres peuvent ainsi accroître la turbidité de l'eau traitée. Il faut noter que la fourniture et le lavage du matériau du filtre par la communauté nécessitent un effort et un temps considérables.

**Le lavage du matériau du filtre est mieux réalisé en secouant de manière énergique les agrégats dans un bassin d'eau de lavage,** étant donné que la friction mécanique détache les impuretés de la surface des agrégats. Le site de lavage devrait être situé au centre de la station de traitement, de préférence près des filtres lents à sable qui sont nettoyés manuellement et plus fréquemment. Ainsi l'on peut réduire la distance à parcourir pour transporter le matériau du filtre. Le site ne devrait pas non plus être trop petit, et devrait permettre à 4 - 6 hommes de laver le matériau du filtre simultanément. L'eau de lavage peut être récupérée et les grosses impuretés éliminées, si de petites quantités du matériau filtrant sont remuées et retirées avec une

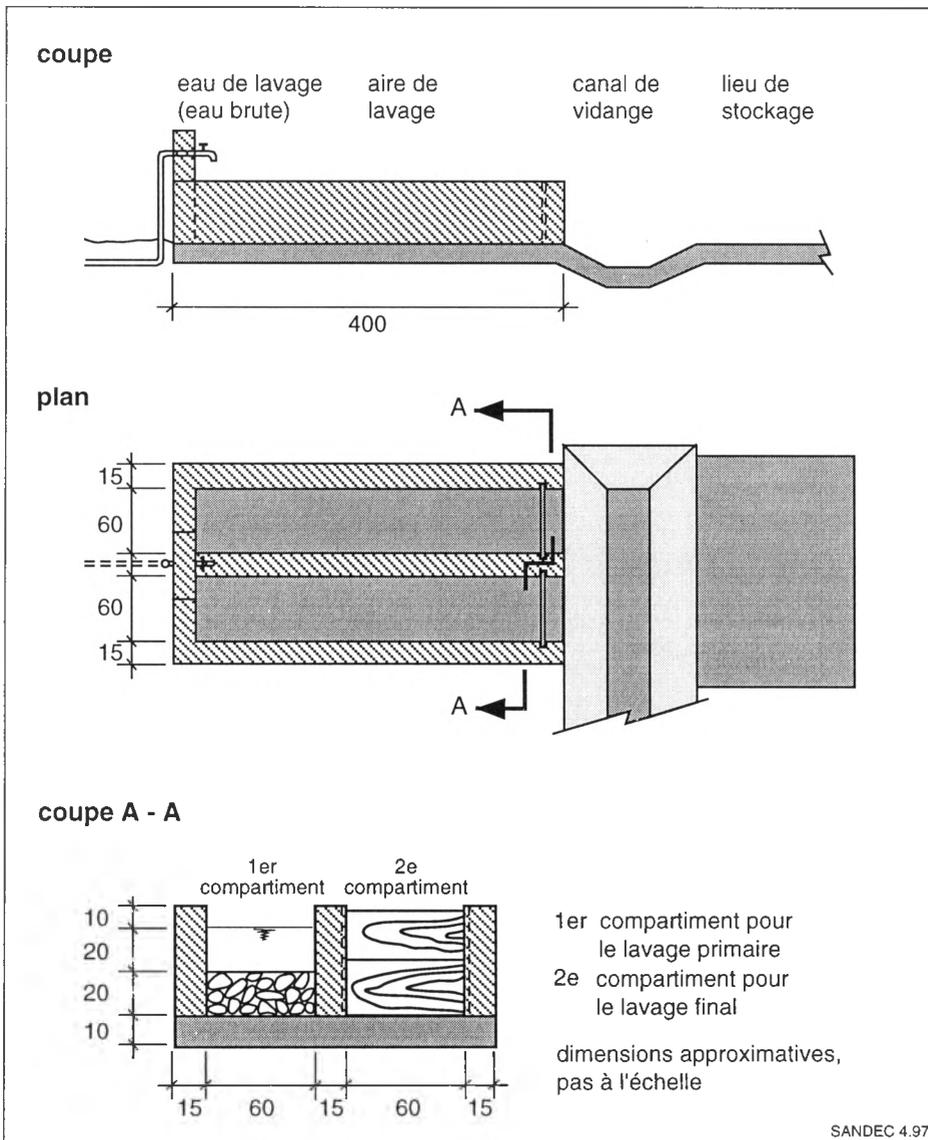


Fig. 49 Présentation de l'installation de lavage du gravier et du sable

pelle, dans un premier bassin avant de les transférer à un second bassin, pour un lavage final. Une telle installation de lavage est illustrée dans la Fig. 49. Par ailleurs, le nettoyage centralisé implique un transport du matériau filtrant. Aussi, l'utilisation d'un canal de drainage à ciel ouvert situé le long des préfiltres à gravier offre une alternative au site de lavage, étant donné que cela nécessite moins de mouvement du gravier.

**L'eau brute de turbidité modérée peut être utilisée comme eau de lavage,** et l'eau préfiltrée pour le lavage final du sable. Un tuyau flexible peut aussi servir pour laver le matériau du filtre, (et devrait ainsi être également disponible,) et sera également utile si l'eau brute est fournie par gravité à la station de traitement. Equiper le site de lavage avec une douche pour l'opérateur de la station est également possible, si l'eau de lavage usée peut être correctement évacuée.

## Une précieuse feuille plastique



*C'était déjà ma quatrième visite à la station de traitement de La Javeriana, qui fait partie du système d'alimentation en eau d'un centre scolaire privé, dans une ville bien grande et bien connue de l'Amérique Latine. J'ai toujours été impatient de rencontrer Alcibiades, l'exploitant dévoué de la station de traitement. J'appréciais nos intéressantes discussions et Alcibiades raconte les nouvelles expériences pratiques qu'il a faites depuis ma dernière visite; ou bien nous discutons les problèmes de fonctionnement courants, auxquels nous trouvons les solutions appropriées. Nous apprenons beaucoup l'un de l'autre et nos relations de travail se développèrent en amitié personnelle.*

*Depuis ma visite de l'année dernière, de nouvelles maisons ont été construites dans le bassin versant. Cela a augmenté davantage l'érosion du sol pendant la saison pluvieuse, et la décharge incontrôlée des eaux usées dans la petite rivière détériora la qualité de l'eau brute, spécialement pendant la saison sèche. Alcibiades dut installer une petite chambre à gravier devant le filtre à la prise, pour réduire la charge de limon sur les filtres. Il essaya aussi de réduire la pollution bactériologique croissante en étalant une couche de sable sur le préfiltre à gravier. La première modification apporta l'amélioration escomptée; cependant, il fit face à d'innombrables problèmes avec la seconde modification. La couche de sable, qui créa une forte résistance dans le préfiltre, aboutit au colmatage du filtre. Comme le nettoyage hydraulique*

*n'était plus possible, il fallait procéder au nettoyage manuel du filtre.*

*La station de traitement de La Javeriana est située dans une prairie légèrement en pente, dans un environnement pittoresque - raison suffisante pour faire des photos pour la documentation de mon projet. J'avais l'intention de documenter les récents changements au niveau du filtre d'entrée avec des photos. Ce que j'ai découvert, c'était une feuille plastique négligemment disposée près du filtre à la prise, et j'étais surpris par ce débris qui ne correspondait pas du tout à la manière de travailler d'Alcibiades. Il gardait normalement la station de traitement et son environnement très propres. Je pensai à plusieurs raisons de cette négligence; par exemple, que son salaire ne convenait plus à son niveau de vie actuel, ou bien qu'il avait des problèmes personnels avec l'administration ou à la maison....*

*J'étais sur le point d'ôter cette déplaisante feuille de plastique qui allait gâcher ma photo quand Alcibiades entra en scène. Je lui expliquai mon problème et lui demandai d'ôter le plastique. Cependant, Alcibiades était fermement opposé à ma suggestion, parce que ce morceau de plastique servait à nettoyer tout le bassin du filtre à la prise, pendant le retrait du gravier deux fois par an. La feuille de plastique servait de dalle temporaire pour ne pas souiller le gravier nettoyé. Honteux de mon ignorance, je fis la photo - avec une feuille plastique en plein milieu!*

## 14. Exploitation et maintenance des préfiltres à gravier

**Il n'existe nulle part dans le monde une station de traitement d'eau qui peut fonctionner d'elle-même.** L'assistance humaine est toujours nécessaire. Les aspects d'exploitation et de maintenance nécessitent une attention particulière dès le début du projet. On doit obtenir aussi l'approbation des différentes parties impliquées, telles que le Ministère de l'Eau, les agences d'appui et la communauté. Un comité villageois de l'eau est généralement formé pour gérer le système d'alimentation en eau. **L'exploitant de la station de traitement joue un rôle clé dans l'exploitation et la maintenance.** Il est normalement élu par le comité de l'eau qui doit définir clairement ses tâches et les conditions de travail, telles les salaires et autres avantages. Les principales tâches de l'exploitant de station de traitement consistent à contrôler le débit d'eau, à surveiller la qualité, à nettoyer les filtres et à réaliser les travaux de maintenance générale. Ces activités seront décrites dans les sections suivantes.

**La principale responsabilité dans l'exploitation et la maintenance d'un système d'alimentation en eau doit être confiée à la communauté concernée,** puisque la fiabilité de l'alimentation en eau affecte en premier lieu ses habitants. En d'autres termes, le système d'alimentation en eau doit être exploité et entretenu autant que possible au niveau du village, en utilisant des ressources et les infrastructures disponibles localement. Les préfiltres à gravier et les filtres lents à sable satisfont à ces critères puisqu'ils ne nécessitent pas de produits chimiques, de pièces de rechange mécaniques ou de personnel d'un niveau de formation élevé. La propriété et l'auto-gestion d'un système d'alimentation en eau par une communauté engagée permettent d'éviter les échecs et le gaspillage des fonds publics.

### 14.1 La formation de l'exploitant

**Une formation complète du personnel local est essentielle,** étant donné que les installations techniques sont manipulées par eux. Alors que la plupart des problèmes techniques peuvent être éliminés ou réduits par une conception et une construction appropriées, les aspects humains pouvant affecter l'exploitation de la sta-

tion de traitement sont plus difficiles à contrôler. Une formation correcte et formelle des exploitants et un appui soutenu, avec une bonne supervision du comité de l'eau pendant la première année d'exploitation sont nécessaires. **Un salaire incitatif pour le personnel local est également important.** L'exploitant d'un système d'alimentation en eau en milieu rural a généralement de nombreuses tâches; il a souvent la charge de l'exploitation de la station de traitement, de la maintenance du système de distribution d'eau, de la collecte des frais, de la résolution des irrégularités et des plaintes, etc. La simple motivation ne suffit pas pour le maintenir au travail. La totalité de son travail doit être rémunérée.

**L'exploitant doit être recruté au sein de la communauté et doit en faire partie:** propriétaire terrien et bien connu, de préférence marié et vivant dans la communauté. L'idéal serait qu'il ait aussi des connaissances techniques; cependant, l'intérêt et la motivation de gérer le système d'alimentation en eau sont les critères de sélection les plus importants. Il doit faire la preuve de son intérêt et de ses compétences pendant la construction de la station de traitement. Toutefois, il est préférable que le futur exploitant ne soit pas sélectionné pendant la phase de construction du projet mais après. Pendant cette période la performance des différents candidats est évalué par le chef de chantier et l'ingénieur de conception qui pourront alors proposer des candidats qualifiés au comité de l'eau, pour élection. **L'exploitant doit aussi avoir un adjoint** qui peut lui suppléer en cas de nécessité. Toutefois, les responsabilités des différents membres du personnel doivent être définies et développées séparément pour chaque employé.

**La formation de l'exploitant est mieux réalisée lorsqu'elle est faite par l'agence d'exécution et dans la langue locale.** L'Annexe 7 décrit les grandes lignes d'un programme de formation possible. La formation formelle sera complétée par des instructions données sur le site par l'ingénieur de conception. Chaque station de traitement est différente et requiert ainsi le développement de calendriers d'exploitation individuels, qui devront être élaborés conjointement avec le superviseur pendant la première année d'exploitation, et révisés régulièrement sur la base des performances de la station de traitement. **La formation de l'exploitant est un processus continu.** Des rencontres régulières avec d'autres exploitants constituent une plate-forme idéale pour des échanges d'expérience, pour rehausser leur réputation et apprécier l'importance des activités quotidiennes des exploitants.

## 14.2 La mise en service d'une station de traitement

**La mise en service du préfiltre ne devrait se faire que lorsque les travaux de construction sont correctement terminés.** Par exemple, le rendement d'un préfiltre à gravier à flux horizontal, rempli seulement partiellement de gravier, sera médiocre. L'eau contournera les couches de gravier entassé de telle manière que l'unité n'agira plus comme un filtre mais comme un bassin de décantation inadéquat. Il faut insister par conséquent sur une bonne finition des travaux de construction, ainsi que sur l'installation de systèmes convenables de contrôle de débit et de vidange, et l'acheminement de tous les matériaux filtrants nécessaires. Maintes fois, il s'est avéré impossible de faire fournir et d'installer des matériaux manquants, une fois le système pris en main et exploité, car les entrepreneurs de construction refusent de supporter des travaux supplémentaires. Le remplissage ultérieur des matériaux filtrants pourrait également altérer la performance de la station.

**Avant de remettre en service un filtre, il est recommandé de le vidanger pour laver les matériaux filtrants installés.** Les préfiltres à gravier sont remplis d'eau jusqu'au niveau du déversoir de sortie à de faibles débits de 0,5 à 1 m/h, après quoi, l'eau est évacuée par la première installation de vidange placée près de l'entrée. Toute poussière à la surface des matériaux filtrants est rincée jusqu'au fond du filtre. Les impuretés accumulées près du système de vidange seront évacuées hors du filtre. Si cela s'avérait nécessaire, cette procédure devra être répétée deux à trois fois, en déplaçant le point de vidange, de l'entrée du filtre à la sortie. Ce lavage évitera que de la poussière pénètre dans le compartiment du gravier fin, ce qui accroîtra la résistance initiale du filtre. Le contrôle du fonctionnement du système de vidange est un effet secondaire positif de la procédure de nettoyage décrite.

**La remise du projet est souvent associée à l'inauguration des installations.** Un approvisionnement en eau propre et suffisant devra être garanti ce jour spécialement. L'exploitation de la station de traitement devra commencer deux à trois mois avant le jour de l'inauguration officielle, pour s'assurer de l'approvisionnement suffisant en eau de bonne qualité et pour éviter de décourager la population et les invités. Au début il est possible que la station ne produise pas la qualité d'eau escomptée, étant donné que les procédés biologiques, connus sous le nom de **maturation du filtre, nécessitent du temps pour se développer (quelques semaines ou mois)**, selon les caractéristiques de l'eau brute. Pendant cette période la station peut être exploitée à un régime

réduit, tout en évitant le prétraitement pour accélérer la maturation du filtre lent à sable. Cependant, cette procédure est applicable seulement aux eaux brutes légèrement troubles, transportant des matières organiques dissoutes qui ne seront pas réduites par les préfiltres mais utilisées pour le développement du «Schmutzdecke» dans le filtre lent à sable.

## 14.3 Le contrôle du débit

**Une exploitation continue de 24 h du filtre constitue une utilisation maximum des installations.** Les conditions d'écoulement continu et constant améliorent généralement la performance de la station de traitement et réduisent la taille de la structure requise. De telles situations idéales nécessitent cependant, l'écoulement gravitaire. Dans les réseaux d'alimentation où l'eau brute est pompée, l'écoulement continu n'est pas toujours possible. Avec pompage, la station de traitement pourrait fonctionner au mieux 8 à 16 heures par jour avec un personnel relayé en une ou deux équipes.

**Une exploitation intermittente du filtre lent à sable n'est pas recommandée pour des raisons de qualité.** Dans les systèmes à pompage, afin de ne pas affecter les activités biologiques dans ces filtres pendant les périodes sans équipe de relais, une exploitation à vitesse de filtration décroissante peut être réalisée. Dans la pratique, le stock d'eau surnageante est drainé à travers le filtre à un débit continu décroissant pendant la nuit et au petit matin, et le filtre est de nouveau rempli d'eau brute pour reprendre son exploitation normale. Une telle opération nécessite des provisions spéciales, puisque l'eau brute pour le filtre lent à sable doit être approvisionnée à des débits de pompage élevés.

**Par contre, les préfiltres à gravier sont essentiellement des filtres physiques. Ils sont moins affectés par les interruptions** du débit, car contrairement aux filtres biologiques, ils n'ont pas besoin d'une fourniture continue de nutriments. Aussi, une exploitation intermittente est possible avec ces filtres sans une détérioration significative de la qualité du préfiltrat, pourvu que le redémarrage du filtre soit doux. L'exploitation des préfiltres à gravier à une vitesse décroissante pour pouvoir fournir aux filtres lents à sable un débit constant est déconseillée à cause du volume d'eau, relativement petit, stocké dans les préfiltres. **L'option la plus favorable dans un réseau pompé est d'introduire l'eau brute dans un réservoir tampon** qui permet une exploitation continue du filtre. L'élimination des matières solides grossières dans ces bassins est un effet secondaire. Les différents volumes de bassin requis pour une station de  $100\text{m}^3/\text{j}$  sont illustrés dans la Fig. 50.

## Une chèvre et un sac de patates



Nongdzen était le quatrième système d'alimentation en eau que j'ai visité en ce jour et Ndzenshwai fut le dernier réseau avant d'atteindre l'hôtel à Kumbo, un petit département en Afrique de l'Ouest. Fatigué de la chaleur et de la poussière, j'étais vraiment pressé de prendre ma douche du soir, et c'était probablement de même pour toute l'équipe dans la voiture 4x4 du projet. Lorsque nous entrâmes à Nongdzen à une vitesse plutôt rapide; le coordinateur du projet suggéra de voir l'exploitant de la station de traitement immédiatement, afin de ne pas perdre trop de temps. Ni Mr Boniface, le technicien local, ni moi-même, n'avions d'objection à sa suggestion. Lorsque nous passâmes le carrefour près de l'église, nous vîmes une grande foule de gens. Nous conclûmes que c'était un mariage et continuâmes au domicile de l'exploitant. Le président du comité de l'eau courait après notre voiture et essayait désespérément d'attirer notre attention. C'est là que notre emploi du temps fut brouillé.

La foule devant l'église ne célébrait pas un mariage, mais nous attendait depuis trois bonnes heures. Nous fîmes demi-tour et nous rendîmes à l'église, où un groupe de batteurs de tam-tam commença à jouer leurs instruments tandis qu'on nous dirigeait vers des chaises devant la grande salle. L'allocution de bienvenue était bien préparée et écrite sur du papier portant trois cachets officiels, et lue par Mr Patrick, président du comité de l'eau. Deux groupes de danseurs traditionnels dansèrent après son allocution. Après cela, un bonnet multicolore fut placé sur ma tête et je fus ordonné comme chef du village et fortement applaudi par toute la communauté. Pendant qu'un

autre groupe se mettait à danser, un cadeau donné traditionnellement aux chefs me fut présenté; c'était une chèvre!

Sous la direction de Mme Dominica, présidente du groupement féminin, une douzaine de femmes se mirent à danser et vinrent déposer un sac de patates à mes pieds. Dépassé par tant d'honneur, j'adressai quelques mots de remerciements aux villageois et mis l'accent sur l'importance de la maintenance du système d'alimentation en eau.

Mr Boniface, le technicien local, était assis tranquillement près de moi pendant toute la cérémonie. On nous servit des mets locaux et des boissons locales dans la salle communautaire. Nous portâmes plusieurs toasts. C'est tard le soir que nous embarquâmes dans la voiture du projet, la chèvre attachée au porte-bagage et le sac de patates à l'arrière. Après des au revoirs amicaux adressés aux villageois, nous quittâmes Nongdzen. Cependant, le nouveau chef assis près de Mr Boniface était embarrassé, parce qu'il a reçu, pendant cette cérémonie de deux heures, tous les honneurs pour les efforts consentis par le technicien local pour mobiliser la communauté, préparer les matériaux de construction, et superviser ce projet d'auto-assistance, un travail qui l'a occupé ces deux dernières années. Nous nous regardâmes sans échanger un seul mot, mais le message était clair.

La chèvre et le sac de patates furent déchargés devant sa maison avant que nous continuâmes à l'hôtel sous le clair de la lune.

**Le débit à travers les préfiltres à gravier est contrôlé par un mécanisme de contrôle de débit placé à l'entrée et par un déversoir fixé à la sortie**, tel qu'il est illustré et recommandé dans la Fig. 32. Cela est aussi applicable pour les filtres lents à sable à entrée contrôlée, qui sont recommandés, et qui compensent des pertes de charge progressives par un accroissement graduel du niveau de l'eau surnageante. Pour les réseaux gravitaires, l'alimentation constante est maintenue par une position plus ou moins fixe de la vanne au niveau de la conduite d'amenée et par un trop-plein situé au niveau de la chambre de distribution. Pour les réseaux équipés de pompes et d'un réservoir d'eau brute, l'écoulement dans la station de traitement est réglé par une installation mécanique de régulation du débit, tel que montré dans la Fig. 33. Ces deux principales possibilités sont illustrées dans la Fig. 21.

**Les déversoirs en V sont généralement utilisés pour les mesures du débit.** Ces déversoirs fixes ou des équipements portables utilisés pour le contrôle du débit sont décrits en Annexe 2. Avec les déversoirs fixes en V le débit dans chaque filtre devrait être contrôlé de manière routinière une fois par jour, et avec des équipements portables au moins une fois par semaine, selon le programme de surveillance souligné en Annexe 8.

**La perte de charge dans les préfiltres à gravier est minimale et réduit à peine le débit dans le filtre.** La perte de charge s'accroît de quelques centimètres dans les préfiltres à gravier bien exploités. Comme les préfiltres à gravier sont des filtres à espace, la résistance du filtre se développe dans tout le lit filtrant. Elle est ramenée à sa valeur initiale par un nettoyage correct et régulier du filtre. **Les filtres à la prise et les filtres dynamiques peuvent par contre développer une résistance considérable**, étant donné qu'ils agissent principalement comme des filtres de surface. Puisque la perte de charge dans les filtres à la prise peut s'accroître jusqu'à 20-30 cm en une semaine (40), il faut compenser cela avec un débit croissant ajusté par une ouverture graduelle de la vanne située au niveau de la conduite de l'effluent. Les filtres dynamiques doivent produire par définition une résistance élevée dans un délai bref, pendant les périodes de haute turbidité, ce qui empêche l'eau brute très turbide de passer dans les filtres suivants. Les filtres à la prise sont généralement nettoyés une fois par semaine, et les filtres dynamiques après chaque pointe de turbidité élevée.

**La perte de charge dans les préfiltres à gravier peut être facilement déterminée par la mesure du niveau de l'eau libre** dans les chambres d'entrée et de sortie.

Le niveau de la crête du déversoir de sortie peut servir de référence (niveau 0). Les échelles de jaugeage fixées aux parois de ces chambres faciliteront la lecture des niveaux.

## 14.4 Le Contrôle de la qualité de l'eau

Un programme de surveillance de la qualité de l'eau vise généralement à :

- la caractérisation de la qualité de l'eau brute
- l'établissement et la surveillance de la performance de la station de traitement
- le développement de critères d'exploitation pour les préfiltres à gravier et les filtres lents à sable (par exemple, un calendrier pour le nettoyage du filtre)
- l'optimisation de l'agencement et l'exploitation des filtres (par exemple, l'échange des matériaux filtrants, l'accroissement ou la réduction de la vitesse de filtration).

**Les critères de qualité les plus importants pour l'eau potable, c'est sa qualité bactériologique.** L'amélioration de la qualité bactériologique dépend beaucoup de la turbidité de l'eau brute, de l'efficacité des unités de prétraitement dans la réduction de cette turbidité, et de l'exploitation adéquate du filtre lent à sable. La turbidité et la contamination bactériologique de l'eau sont, par conséquent, les paramètres clés pour la caractérisation de l'eau de surface en milieu rural. Les mesures de la turbidité jouent un rôle majeur dans la surveillance des étapes de prétraitement, l'efficacité du filtre lent à sable est généralement établi par des tests bactériologiques.

**L'examen de la qualité bactériologique nécessite un équipement spécial**, des kits spéciaux de test sur le terrain ou généralement les infrastructures de laboratoire. Un personnel bien formé et expérimenté est essentiel pour une analyse fiable. Les tests routiniers de la qualité bactériologique des réseaux en milieu rural, sont généralement bien au-delà de la capacité de l'institution responsable et, par conséquent, sont restreints principalement à des tests occasionnels. L'avantage d'un filtre lent à sable bien exploité est qu'il est une unité de traitement d'eau, stable et fiable ne nécessitant pas de fréquents contrôles bactériologiques. Dans la pratique, la fréquence des tests peut être réduite au minimum, une fois que l'efficacité bactériologique du filtre

lent à sable est démontrée. **La perte de charge et la durée d'exploitation du filtre sont des critères appropriés pour évaluer leur efficacité bactériologique.** Les filtres lents à sable bien exploités utilisent les procédés de traitement naturels, ainsi la nature se révolte avec un accroissement de la perte de charge, lorsque les filtres sont surchargés; contrairement aux procédés de

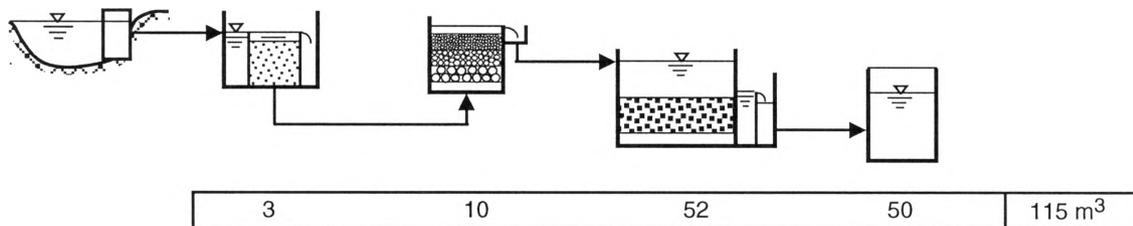
traitement chimiques et mécaniques où les doses chimiques et la pression de l'eau peuvent être augmentées aux dépens de la qualité de l'eau produite. Ainsi, par une exploitation adéquate du filtre lent à sable, et par une surveillance de la perte de charge produite, l'exploitant peut beaucoup influencer et contrôler la qualité de l'eau traitée.

**modèle d'écoulement et volume requis pour une station de 100 m<sup>3</sup>/jour**

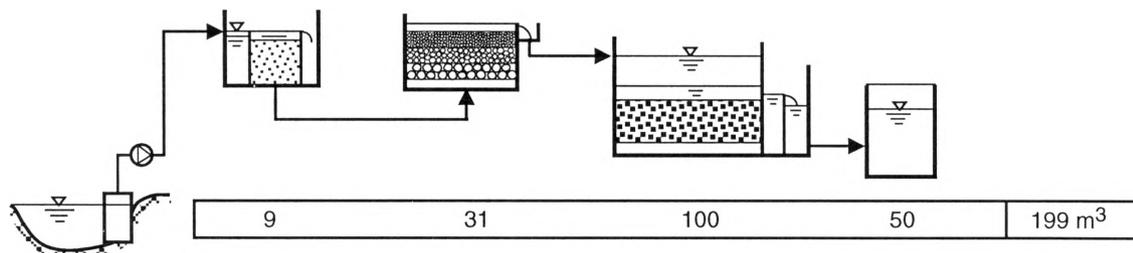
	filtre à la prise	préfiltre à gravier à flux ascendant	filtre lent à sable	réservoir d'eau claire	volume total
--	-------------------	--------------------------------------	---------------------	------------------------	--------------

grandeurs de dimensionnement:  $v_F = 1 \text{ m/h}$   $v_F = 0.6 \text{ m/h}$   $v_F = 0.2 \text{ m/h}$   
 $H_{\text{tot}} = 0.7 \text{ m}$   $H_{\text{tot}} = 1.5 \text{ m}$   $H_{\text{tot}} = 2.5 \text{ m}$

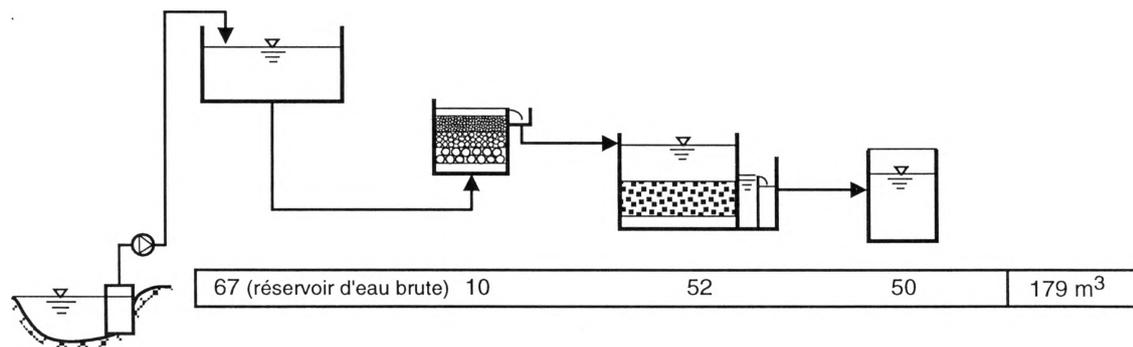
**système gravitaire**



**système avec pompage sans réservoir d'eau brute**



**système avec pompage et réservoir d'eau brute**



SANDEC 4.97

Fig. 50 Le volume du réservoir d'une station de traitement de 100 m<sup>3</sup>/j en fonction du modèle d'écoulement

**Les mesures de la turbidité sont en principe simples** et peuvent par conséquent être réalisées par l'exploitant local. Toutefois, des mesures conventionnelles régulières de la turbidité, quoique simples en théorie, peuvent se révéler difficiles à réaliser en milieu rural. Les problèmes de transport et de communication, la fragilité des instruments et les difficultés relatives à la fourniture des produits (à savoir les piles, les standards), sont des aspects prépondérants pouvant conduire à l'échec probable d'un programme aussi simple que celui du contrôle de la turbidité. **Des méthodes de test robustes et simples sur le terrain ont par conséquent été développées** pour permettre la caractérisation des principales propriétés physiques de l'eau, dans les conditions réelles du terrain. Bien que les différentes méthodes décrites en Annexe 1 ne fournissent pas de valeurs absolues mais relatives, elles sont, cependant, un outil utile pour la description de la qualité de l'eau de n'importe qu'elle station de traitement.

**Un simple tube de mesure de la turbidité** développé par DelAgua [7] remplace les instruments traditionnels de mesure de turbidité nécessitant généralement une alimentation en électricité. Etant donné que la méthode visuelle dépend de l'acuité visuelle, elle n'est pas aussi exacte que les mesures électroniques, notamment dans les gammes des turbidités élevées. La limite pratique inférieure de mesure avec ce tube est 5 NTU (Unités de Turbidité) et satisfait par conséquent aux normes requises par la filtration lente à sable.

**Le test de filtrabilité** indique approximativement la quantité de matières solides en suspension dans l'eau et peut par conséquent être utilisé à la place de la méthode standard, nécessitant une balance de haute précision, une pompe à vide et un four de séchage dans une salle climatisée. En outre, des cônes Imhoff modifiées sont utilisées pour la détermination du volume de matières solides décantables.

**Le test de stabilité** donne des informations sur les caractéristiques de décantation des matières colloïdales et sur la stabilité de la suspension. Les résultats de ce test reflètent non seulement la taille et la surface des matières solides mais la composition chimique et organique de l'eau. L'adsorption des ions de  $\text{Ca}^{2+}$  et de  $\text{Mg}^{2+}$  sur les surfaces de matières solides en suspension peut la déstabiliser, tandis qu'il est connu que les substances humiques accroissent dans de nombreux cas la stabilité d'une suspension.

**D'habitude, des échantillons d'eau sont prélevés de l'eau brute à l'entrée et à la sortie des filtres,** comme indiqué dans la Fig. 51. Des points de prélève-

ment supplémentaires peuvent servir pour optimiser un agencement du préfiltre à gravier (par exemple, par une éventuelle modification de la taille des graviers). L'efficacité des couches individuelles du préfiltre à gravier est examinée à l'aide des tubes d'échantillonnage placés à l'extrémité des différentes couches du filtre. Les prélèvements de l'eau par ces tubes devraient être réalisés soigneusement, pour éviter de remettre en suspension des dépôts autour du point d'échantillonnage, ce qui va autrement aboutir à des résultats inexacts. Il est conseillé d'utiliser l'échantillonnage par goutte, et d'écarter le premier échantillon d'eau avant de commencer l'échantillonnage réel.

**De simples équipements de test sur le terrain devraient être alloués à chaque station de traitement.** L'exploitant doit subir une formation pour pouvoir réaliser correctement les différents tests de qualité de l'eau et exécuter le programme de surveillance de sa station de traitement. Une fiche type d'un tel programme de surveillance est résumé en Annexe 8. L'exploitant local est assisté et guidé par un superviseur rattaché à la section d'exploitation et de maintenance de l'institution gouvernementale responsable de l'alimentation en eau (par exemple, la direction départementale ou régionale de l'eau). Le superviseur effectuera des visites mensuelles au départ, puis semestrielles, à la station de traitement, pour soutenir les activités quotidiennes de l'exploitant et pour obtenir en retour des informations utiles à la conception et à l'exploitation d'autres stations de traitement.

## 14.5 Le nettoyage du filtre

**L'efficacité du filtre n'est pas constante mais peut s'accroître au début de l'exploitation du filtre et décroître certainement lorsque les matières solides s'accumulent excessivement dans le filtre.** Aussi, le retrait périodique de ces matières accumulées est nécessaire, pour rétablir l'efficacité et peut-être la performance hydraulique du filtre. Les filtres sont nettoyés hydrauliquement ou manuellement. Les méthodes de nettoyage dépendent de la manière dont les matières solides se sont accumulées dans le filtre. Aussi, les procédures de nettoyage devront être adaptées aux différents filtres.

**Dans les filtres à la prise, les matières solides s'accumulent principalement sur la surface du lit filtrant.** Une augmentation de la vitesse d'écoulement à travers la surface du filtre, peut détacher et entraîner une fraction de ces matières solides accumulées. Le plus sou-

vent cependant, **les filtres à la prise sont nettoyés à la main, à l'aide d'un râteau et d'une pelle, une fois par semaine.** La première étape dans le processus de nettoyage est la fermeture de la vanne sur la ligne d'eau prétraitée. Après cela, la vanne de contrôle à l'entrée est ouverte pour accroître l'écoulement horizontal superficielle dans la chambre de filtration à environ 0,20 à 0,40 m/s. On peut également augmenter l'écoulement en fermant les autres unités de filtre exploitées en parallèle et en dirigeant toute l'eau brute dans l'unité à nettoyer. Cette méthode est particulièrement conseillée dans les systèmes où l'approvisionnement en eau brute est limité, comme dans les réseaux pompés ou à faibles capacités de conduite hydraulique. **Les matières solides retenues par le filtre sont premièrement suspendues de nouveau en remuant mécaniquement l'eau et ensuite repoussées dans la rivière.** Le nettoyage à la main devrait commencer au début du filtre et se poursuivre dans la direction de l'écoulement, pour éviter l'ensablement du gravier propre. Le gravier du filtre à la prise doit être nettoyé complètement une fois par an. Une dalle en béton près du filtre est recommandée pour y déposer et laver le gravier. Un système de nettoyage à contre-courant avec un radier est aussi possible dans les filtres à la prise où une grande quantité d'eau brute (au moins 10 l/s par m<sup>2</sup> de surface filtrante, à une pression minimum de 2 m de hauteur d'eau) est disponible sur le site. L'exploitation du filtre est reprise en évacuant l'eau préfiltrée dans la rivière ou ailleurs jusqu'à ce qu'elle devienne claire. Après cela, l'eau prétraitée peut être reconduite aux filtres suivants de la station de traitement.

**Puisque les filtres dynamiques sont aussi des filtres de surface, ils sont nettoyés à la main.** La procédure de nettoyage est similaire à celle des filtres à la prise; toutefois, les filtres dynamiques doivent être nettoyés après chaque événement de haute turbidité de l'eau brute ou lorsque la résistance du filtre est suffisamment élevée. Le nettoyage des filtres dynamiques est facile à

cause de la superficie du filtre relativement petite, compte tenu de la vitesse de filtration élevée ( $V_F$  supérieure ou égale 5 m/h).

**Les préfiltres à gravier sont principalement nettoyés hydrauliquement mais peuvent aussi être nettoyés à la main, le cas échéant.** Un nettoyage régulier du matériau filtrant est important pour une bonne exploitation du filtre. Contrairement à l'exploitation du filtre qui se fait en régime laminaire, le nettoyage hydraulique du filtre est réalisé dans des conditions de flux turbulent. L'eau stockée dans le filtre est évacuée hors du compartiment du filtre à une vitesse élevée. Afin de ne pas perdre trop d'eau de lavage stockée dans le filtre, les vannes ou les portes devraient être ouvertes rapidement. **Une évacuation de choc est réalisée par une ouverture et fermeture rapides des vannes ou des portes** du système de vidange. Les actions démarrage - arrêt du procédé d'évacuation provoquent des conditions d'écoulement instables qui libèrent et font désintégrer les dépôts solides accumulés dans le filtre. L'application ensuite des vitesses d'évacuation élevées fait repousser les matières solides de nouveau en suspension hors du filtre. Des concentrations élevées de matières solides en suspension peuvent être observés dans l'eau de lavage, comme illustré dans la Fig. 52. Toutefois, ces concentrations élevées diminuent rapidement avec le temps d'évacuation progressive et les cycles d'évacuation supplémentaires. A la fin du cycle de vidange, la concentration de matières solides en suspension dans l'eau de lavage montre encore une légère augmentation, lorsque le dépôt de boue restant, accumulé au fond, est nettoyé. **Dans les préfiltres à gravier à flux vertical, chaque compartiment du filtre peut être vidangé séparément.** Cela permet le nettoyage individuel des compartiments spécifiques du filtre, ou d'une partie du filtre, à condition que le radier du filtre soit séparé en segments. Le lavage conventionnel à contre courant du filtre tel qu'appliqué dans la filtration rapide à sable n'est pas possible, puisque le lit

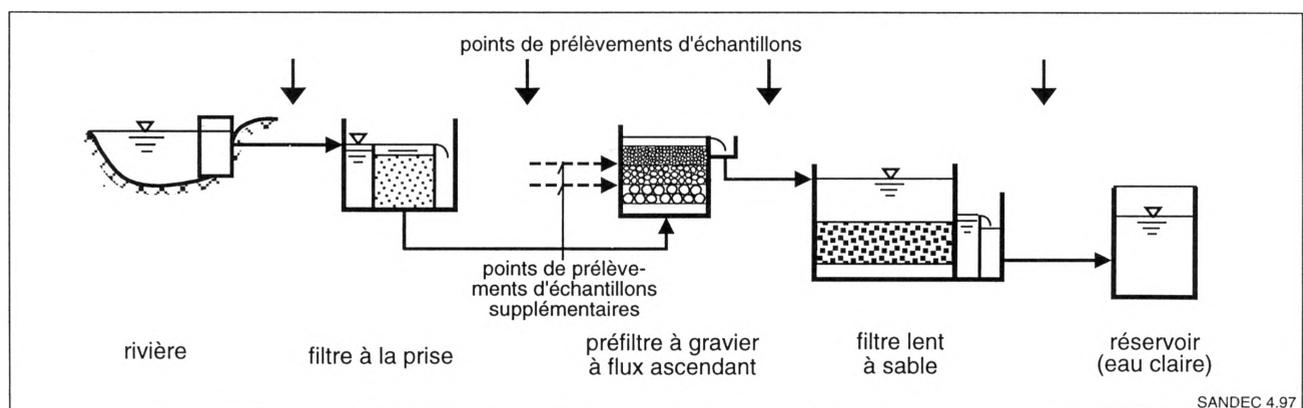


Fig. 51 Emplacement des points de prélèvement d'eau

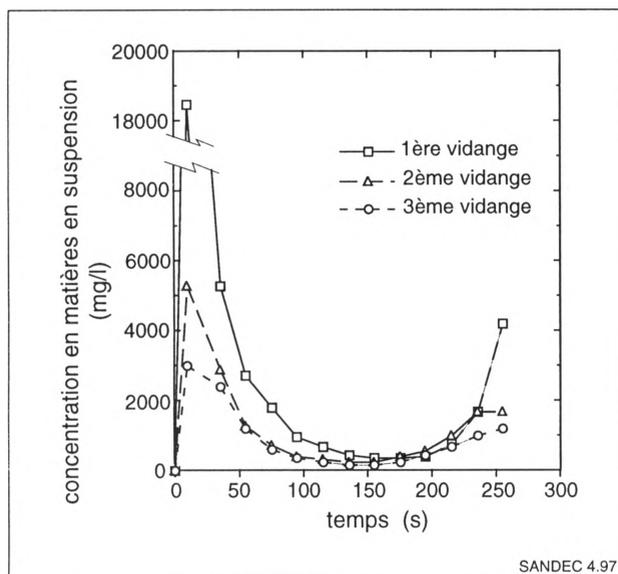


Fig. 52 Concentration de matières solides en suspension dans l'eau de lavage de trois cycles successifs d'évacuation du filtre

des préfiltres ne peut pas être fluidifié. **Un grand volume d'eau de lavage est disponible dans les préfiltres à gravier à flux horizontal**, étant donné que les différents compartiments du filtre sont séparés par des cloisons perforées permettant à l'eau stockée dans tout le filtre de couler dans la conduite d'évacuation ouverte. Aussi, un volume considérable d'eau de lavage est disponible pour pousser la boue accumulée autour de la conduite d'évacuation hors du filtre. A moins d'ouvrir simultanément toutes les vannes d'évacuation, il est difficile d'obtenir une vitesse d'évacuation verticale suffisante pour repousser jusqu'au fond les dépôts accumulés dans tout le lit filtrant. Un déversement important de l'eau de lavage peut aussi créer un problème d'évacuation. **Dans les préfiltres à gravier à flux horizontal, il est très important de commencer le nettoyage du côté de l'entrée**, étant donné que la plupart des matières solides sont retenues dans cette partie du filtre. En commençant à évacuer l'eau par la fin du filtre, on entraînera une grosse partie des matières solides vers ce point d'évacuation et par conséquent le risque de colmatage de la partie fine du filtre.

A moins d'ouvrir simultanément toutes les vannes d'évacuation, il est difficile d'obtenir une vitesse d'évacuation verticale suffisante pour repousser jusqu'au fond les dépôts accumulés dans tout le lit filtrant. Un déversement important de l'eau de lavage peut aussi créer un problème d'évacuation. **Dans les préfiltres à gravier à flux horizontal, il est très important de commencer le nettoyage du côté de l'entrée**, étant donné que la plupart des matières solides sont retenues dans cette

partie du filtre. En commençant à évacuer l'eau par la fin du filtre, on entraînera une grosse partie des matières solides vers ce point d'évacuation et par conséquent le risque de colmatage de la partie fine du filtre.

**L'efficacité du nettoyage hydraulique peut être évaluée par une comparaison de la perte de charge avant et après le drainage du filtre.** Pour cela, les mesures à l'entrée et à la sortie du filtre doivent être faites dans les mêmes conditions d'exploitation, par exemple, avec des vitesses de filtration similaires avant et après le nettoyage du filtre. Un nettoyage supplémentaire à la main devient nécessaire si la résistance initiale du filtre s'accroît et qu'aucune régénération du filtre n'est observée après le nettoyage hydraulique. L'installation de tubes plastiques transparents, utilisés comme piézomètres et fixés à la paroi externe de la chambre de filtration, à l'extrémité de chaque couche du filtre, est utile pour un contrôle supplémentaire de la perte de charge. Les pertes de charge enregistrées à ces points sont utilisées pour déterminer l'efficacité de la régénération et détecter le colmatage prématuré des couches individuelles du gravier. Un enregistrement précis du niveau d'eau est important, car la différence de pression entre les couches successives du filtre est généralement de quelques millimètres ou centimètres. Dans les préfiltres à gravier à flux horizontal, si le niveau d'eau atteint le sommet du filtre, la perte de charge dans le filtre pourrait devenir le critère décisif du nettoyage à la main. Une surface libre de l'eau au-dessus d'un tel filtre ne devrait jamais être tolérée, puisque l'efficacité du filtre va baisser d'une manière dramatique, à cause des court-circuits.

**La fréquence de nettoyage du filtre dépend beaucoup des caractéristiques de l'eau brute, de l'agencement du filtre et de son exploitation.** La plupart des matières solides (80 - 90%) de l'eau de surface tropicale sont généralement composées de matières inorganiques stables. Ces matériaux une fois séparés peuvent être stockés dans les préfiltres à gravier, sans impact négatif sur l'eau, puisque ce type de matériau ne change pas les propriétés chimiques de l'eau passant à travers le filtre. Par contre, des niveaux élevés de matières organiques demande un nettoyage fréquent et régulier, pour éviter la consolidation des dépôts solides, la décomposition des matières organiques dans le filtre, et prévenir la détérioration de la qualité de l'eau par rapport à son goût et à son odeur. Néanmoins, dans l'ensemble, **le nettoyage hydraulique régulier est conseillé, puisqu'il rehausse l'efficacité du filtre et réduit le compactage de la boue et la fréquence de nettoyage à la main.**

**Le calendrier de nettoyage hydraulique annuel** doit être adapté à la fluctuation annuelle de la qualité de l'eau brute. Les eaux brutes aux charges de turbidité élevée sont traitées de préférence par des filtres relativement propres pour empêcher la traversée/ le transport de matières solides dans le filtre lent à sable ainsi affectant son l'exploitation. Il est donc recommandé de nettoyer entièrement les préfiltres à gravier avant les charges de pointes (par exemple, avant le début de la saison pluvieuse). L'exploitant peut en principe effectuer le lavage sans aide extérieure (soit sans la participation de la communauté). **Chaque exploitant aura donc à établir, à travers une expérience pratique, la procédure de nettoyage optimale et sa fréquence, pour sa propre station de traitement.** L'exploitant sera certainement plus intéressé par un nettoyage hydraulique efficace puisque le nettoyage à la main prend du temps et nécessite un travail intensif.

**Le lavage manuel s'impose lorsque les matières solides accumulées au fond du filtre ou pire, dans l'ensemble du filtre, ne peuvent plus être retirées hydrauliquement.** Cela se produit si le nettoyage hydraulique proprement dit a été négligé ou si les matières solides se sont adhérees au matériaux filtrants ou au radier. Une couche visqueuse peut éventuellement couvrir le matériau filtrant, s'il y a eu activité biologique dans le filtre provenant des grandes charges de matières organiques dissoutes. Cette couche biologique accroîtra probablement l'efficacité du filtre au début, mais empêchera éventuellement le mouvement des matières déposées vers le fond du filtre. Les matières cohésives accumulées peuvent également empêcher l'auto-régénération du filtre. Enfin, si des le matières subsistent dans un lit filtrant envasé et vide, elles se dessècheront et formeront une croûte autour des matériaux filtrants. Aussi, **les préfiltres à gravier ne devraient jamais rester secs, à moins que les filtres aient été lavés correctement auparavant.**

**La procédure de nettoyage manuel consiste principalement à extraire les matériaux filtrants, à les laver puis à les ré-introduire dans le préfiltre.** Le matériau filtrant est extrait du filtre vidangé. En principe, les matériaux filtrants grossiers sont extraits en premier, lavés puis réintroduits dans leur compartiment. La première partie des matériaux filtrants extraits, peut être stockée de côté pendant un temps, tandis que le reste des matériaux est lavé et réintroduit directement dans le but de minimiser l'aire de stockage et réduire le travail. En ce qui concerne les préfiltres à flux horizontal, ayant des murs en dur, chaque couche de filtre est généralement manipulée séparément, pour éviter de mélanger le matériau. Si au contraire, les préfiltres à

flux ascendant ou les préfiltres à flux horizontal sont construits avec des séparations lâches, voire inexistantes, alors il faut extraire les matériaux filtrants simultanément des deux côtés.

**Le retamissage du matériau filtrant est nécessaire si les différentes couches ont été mélangées,** ou si le matériau filtrant a été fractionné en plusieurs parties lors de leur extraction ou du lavage mécanique. Une taille bien spécifique et uniforme de chaque couche de matériau est essentielle pour maintenir une bonne porosité du lit filtrant. Il est donc plus avantageux d'installer un matériau filtrant très dur dès le départ. La réinstallation du matériau filtrant ne devrait poser aucune difficulté. Toutefois, le matériau devrait être de préférence apporté dans le filtre dès la fin du lavage, afin d'éviter une contamination par des poussières ou des saletés. Le matériau désintégré des préfiltres à gravier doit être remplacé jusqu'à son niveau précédent. Une réserve de matériaux filtrants devrait donc être disponible à la station de traitement.

**Le nettoyage du filtre implique beaucoup de travail manuel, qui dépasse souvent les capacités physiques de l'exploitant.** Une main d'oeuvre supplémentaire doit être mobilisée, soit en passant des contrats occasionnels avec des ouvriers locaux ou en impliquant la communauté. Une planification et une bonne organisation sont nécessaires, si le lavage manuel est exécuté avec l'aide de la population locale. Le calendrier de nettoyage ne devrait pas, par exemple coïncider avec une période d'activité agricole intense. **Du matériel et des outils appropriés devraient être fournis pour permettre un nettoyage efficace du filtre,** sinon le travail de maintenance deviendra laborieux et pourrait ne jamais être exécuté. Le nettoyage à la main du filtre requiert des pelles, des tamis, de préférence deux à trois brochettes robustes, des planches en bois et des seaux. Le même matériel déjà utilisé pour la construction devrait donc rester à la station de traitement ou sous la garde de l'opérateur local à la fin de la construction.

## 14.6 La maintenance du filtre

**Les incidents majeurs sont souvent le résultat de causes mineures.** Cela s'applique également à la maintenance du préfiltre à gravier. La maintenance du filtre n'est pas très exigeante, étant donné que les préfiltres ne contiennent pas de pièces mécaniques en dehors des vannes. Néanmoins, la maintenance devrait viser à garder la station dans de bonnes conditions dès le départ. Un appui externe dans les travaux de maintenance

peut être évité si **les travaux suivants sont exécutés correctement par l'exploitant local**:

- **l'entretien périodique** des locaux de la station de traitement (désherbage, enlèvement des buissons et arbustes qui pourraient déranger les structures par leurs racines, l'évacuation des déchets).
- **la protection du sol** contre l'érosion (spécialement les structures de prise d'eau de surface, les canaux d'évacuation des eaux de lavage et les eaux de ruissellement de surface).
- **la réparation des fissures** dans les murs des différentes structures et le remplacement du plâtre ébréché
- **l'application de produits anti-corrosifs** aux parties métalliques exposées (déversoirs en V, tiges de jaugeage, conduites)

- **la vérification des différentes vannes** et des systèmes de drainage, et la lubrification occasionnelle des parties mobiles
- **le désherbage du matériau filtrant.**
- **l'écumage du matériau flottant** de la nappe d'eau
- **le nettoyage du matériau grossier décanté** (chambres de distribution et d'entrée)
- **le contrôle des accessoires** et le remplacement des parties défectueuses (outils et matériel de tests).

**Le terme «périodique» ne s'applique pas seulement au premier point de cette liste mais à tous les points.** Une bonne maintenance de la station de traitement garantit une utilisation à long terme des installations à de faibles coûts de fonctionnement.



Photo 9

*Le nettoyage hydraulique du préfiltre à gravier (Noter l'agencement simple du mécanisme d'ouverture rapide, comme illustré également dans la Fig. 34.)*

## ***Des cours de sciences naturelles passionnants***



*Mr. Augustin est un professeur du secondaire à Rehana, un centre urbain de la région du Sahel. Son sujet favori, c'est les sciences naturelles, étant donné que ce sujet fournit aux étudiants une bonne base pour leur vie d'adultes. Toutefois, il avait souvent en face de lui un auditoire passif, et les étudiants avaient souvent des difficultés à appliquer le sujet enseigné. Par exemple, étant donné que la température est d'une importance capitale dans ce pays chaud, Mr. Augustin expliqua que l'eau gèle à 0° Celsius (°C) ou à 32° Fahrenheit (°F). La température ambiante était d'environ 32°C, ce qui équivaut à 90°F, mais l'eau commence-t-elle à bouillir à 90°C ou à 90°F? Les élèves étaient confus dans tous ces chiffres et ne pouvaient pas se familiariser avec la théorie présentée, puisque Mr Augustin n'avait pas de thermomètre pour faire des mesures concrètes.*

*Cependant, les sciences naturelles avaient aussi leur bon côté, en particulier lorsque les écoliers nettoyaient le gravier et le sable de la station de traitement communautaire. C'était toujours palpitant d'écouter les explications de Mr Dickson. Mr Dickson était l'exploitant de la station de traitement et probablement un excellent ingénieur, comme il en savait beaucoup sur ses filtres. La classe de Mr Augustin était invitée deux fois par an pour nettoyer les filtres de la station de traitement. Les écoliers exécutaient premièrement les travaux manuels qui duraient à peu près deux heures. Après cela, ils pouvaient s'asseoir à l'ombre du palmier et écouter les histoires passion-*

*nantes de Mr Dickson. Il leur dit que de petites particules vivantes se trouvent dans l'eau brute trouble, des particules causant des maladies telles que la diarrhée ou le terrible virus de Guinée. Cependant, lorsque l'eau parcourt les filtres, ces particules, retenues par le gravier et le sable, commencent à mourir de faim dans les filtres, du manque de nourriture et finissent par mourir. C'est aussi la raison pour laquelle le nettoyage du filtre n'était pas du tout un travail hasardeux. Les étudiants pouvaient comprendre les excellentes explications de Mr Dickson.*

*Une fois, Mr Dickson montrait aux étudiants des papiers ronds couverts de petits points. Il avait reçu ces papiers du technicien de laboratoire qui avait récemment examiné l'eau brute et l'eau traitée, à la recherche de bactéries comme il appelait ces organismes vivants. Les papiers d'eau brute étaient pleins d'innombrables points jaunes, tandis que les papiers d'eau traitée avaient seulement deux points, dont l'un était même rouge. Les écoliers étaient donc réellement persuadés que les filtres étaient une barrière efficace pour préserver leur santé des maladies.*

*La température était très élevée et le soleil tapait impitoyablement les étudiants qui devaient retourner à leurs leçons. Sur le chemin de retour à l'école, les débats sur les bactéries continuaient et les élèves des communautés voisines discutaient de l'idée d'introduire un système de traitement similaire dans leurs villages.*



## 15. Aspects économiques

Etant donné que de nombreux facteurs affectent les coûts de la station de traitement, des valeurs générales absolues ne peuvent être citées. De tels facteurs comprennent le type de station de traitement, les coûts des matériaux locaux et de la main d'oeuvre, le mode d'exécution (construction par des entrepreneurs privés, une institution nationale ou la participation de la communauté dans un projet d'auto-assistance), et l'emplacement géographique (affectant le type de structure pour satisfaire aux conditions climatiques, l'accessibilité influençant les coûts de transport, etc.). **Les coûts totaux comprennent aussi bien les coûts de construction, que les coûts d'exploitation et de maintenance. Les différents coûts peuvent être subdivisés en contribution locale et en contribution en devises étrangères**, un aspect de grande importance dans les pays en développement qui doivent souvent importer une partie des équipements et du matériel requis pour la station de traitement.

### 15.1 Les coûts de construction

Une évaluation de la répartition des coûts de construction de différents projets de préfiltre à gravier dont la capacité varie entre 70 à 750 m<sup>3</sup>/j en Tanzanie, au Kenya, en Indonésie et en Australie, révèle pour les coûts de construction la répartition suivante:

#### Pourcentage des coûts de construction :

■ Terrassement et structure :	70%
■ Matériau filtrant :	20%
■ Conduites et accessoires :	10%

La topographie et les conditions du sol (les travaux d'excavation requis et le type de fondation), y compris le type de structure (en béton armé ou en briques), sont des facteurs de coût décisifs pour le terrassement et la structure. La disponibilité locale de matériaux filtrants de taille appropriée influence de manière significative le prix d'achat, donc leur approvisionnement. Ces deux premières composantes du prix ne conduisent pas à des économies d'échelle, alors que les coûts relatifs des conduites et des accessoires décroîtront avec l'augmentation de la taille des installations.

**Les coûts spécifiques de construction du préfiltre à gravier par m<sup>3</sup> de volume de filtre installé** varient entre 100 à 175 dollars US, à l'exception de la station en Australie où les coûts spécifiques atteignent 600 dollars US. C'est non seulement la plus petite, en termes de capacité, construite en béton armé, mais elle reflète aussi les prix pratiqués par les entrepreneurs privés dans un pays industrialisé. Dans les pays en développement, les coûts spécifiques de construction du préfiltre à gravier seront probablement compris entre 150 et 200 dollars US/m<sup>3</sup>. Dans les projets d'auto-assistance où seuls les matériaux de construction sont à payer, les coûts de construction peuvent être réduits de 30 à 35%.

**Les coûts spécifiques de construction du préfiltre à gravier en fonction du débit à traiter en m<sup>3</sup>/j** dépendent de la longueur du filtre et de la vitesse de filtration. Dans l'hypothèse d'un filtre de 5m de long et d'une vitesse de filtration de 0,5m/h pendant 24h/j, les coûts moyens qui en résultent s'élèvent à:

	environ en dollars US/m <sup>3</sup> /j
<b>Coûts de construction</b>	<b>60 – 80</b>
<b>Coûts des matériaux seuls</b>	<b>30 – 40</b>
<b>(dans les projets d'auto-assistance)</b>	

**Les coûts de construction des filtres lents à sable dépendent de l'agencement et de la conception du filtre.** Les coûts sont beaucoup influencés par le type de bassin de filtration choisi (un bassin en terre et un bassin de filtration en béton armé sont les deux extrêmes), et par le prix du sable. Une étude des coûts de filtration lente à sable menée en Inde [59] et basée sur des prix de 1979, a révélé des coûts de construction spécifiques d'environ 24 à 40 dollars US/m<sup>3</sup>/j, pour une capacité journalière allant de 70 à 750 m<sup>3</sup>. Une estimation des coûts des matériaux dans le Manuel des Filtres Lents à Sable [60] a révélé des coûts spécifiques plus élevés. Pour les options de filtres lents à sable moins coûteux avec des murs en pente ou une structure en maçonnerie, les coûts des matériaux étaient estimés à 40 - 60 dollars US/m<sup>3</sup>/j et 160-240 dollars US/m<sup>3</sup>/j, respectivement. Toutefois, l'estimation des coûts pour ces stations, dont la capacité varie entre 70 et 350 m<sup>3</sup>/j, comprend également les coûts des matériaux pour de petits réservoirs d'eau claire de 20 à 40 m<sup>3</sup> de volume. Les coûts assez variés des matériaux et de la main d'oeuvre dans ces différents pays rendent difficile

le calcul d'un coût indicatif qui pourrait être généralement valable, comme il a été démontré par les deux études.

**Une évaluation plus complète des coûts avait été faite pour 15 filtres lents à sable construits aux USA** [17]. De ces 15 stations, cinq installations, de capacité variant entre 130 et 189,220 m<sup>3</sup>/j, sont des systèmes gravitaire, sans équipement électrique. Une évaluation des coûts de construction de ces cinq stations a donné les valeurs suivantes pour les coûts de construction:

#### Répartition des coûts de construction en %

■ travaux sur le site :	10%
■ matériaux filtrants :	25%
■ conduites, vannes et compteurs :	20%
■ bassin de filtration :	45%

Les coûts de construction spécifiques pour des filtres lents à sable non couverts aux USA présentent clairement des économies d'échelle ci-après:

$$C = 9.120 \times A^{0.49} \quad (R = 0,88)$$

C = Coûts de construction en dollars US

A = Surface du filtre en m<sup>2</sup>

R = Coefficient de corrélation

Une station de filtre lent à sable ayant une surface de filtration de 50 m<sup>2</sup> et exploitée à une vitesse de filtration de 0,15 m/h, a une capacité de 180 m<sup>3</sup>/j. La construction d'une telle station coûterait 62 000 dollars US. Sur la base de l'équation ci-dessus, les coûts d'investissement pour une station de même type mais avec une surface de filtre et une capacité journalière deux fois plus grandes, s'élèverait à environ 87 000 dollars US. **Pour les filtres lents à sables, cela aboutit donc aux coûts de construction spécifiques suivants en fonction de la capacité journalière:**

**Pour une station de filtre lent à sable de :**

180 m<sup>3</sup>/j environ 345 dollars US/m<sup>3</sup>/j

360 m<sup>3</sup>/j environ 242 dollars US/m<sup>3</sup>/j

Ces coûts spécifiques démontrent clairement les économies d'échelle. De plus, lorsqu'ils sont appliqués aux vitesses de filtration utilisées dans les préfiltres à gravier et les filtres lents à sable (0,5 et 0,15 m/h), les coûts de construction spécifiques évoluent dans le même ordre de grandeur. Les coûts spécifiques modifiés dans le rapport 0,5/0,15 pour les filtres lents à sable s'élèveraient à environ 100 et 70 dollars US/m<sup>3</sup>/j, pour les stations de 180 et 360 m<sup>3</sup>/j respectivement, et peuvent être comparés aux coûts de 60 à 80 dollars US/m<sup>3</sup>/j donnés pour les préfiltres à gravier.

Une comparaison des coûts de construction est faite entre les filtres lents à sable et les filtres rapides à sable [17]. Selon une évaluation des coûts de construction spécifiques pour sept stations de filtres lents à sable, ils varient entre 350 et 2 500 dollars US/m<sup>3</sup>/j. Par ailleurs, il apparaît que les coûts de construction des filtres lents à sable de petite capacité sont beaucoup plus bas que pour les filtres rapides à sable de capacité équivalente, grâce à leur conception simple et de la nécessité d'un minimum d'équipement mécanique. De plus, les stations de préfiltre à gravier et de filtre lent à sable ont souvent une durée de service plus longue, ce qui réduit les taux d'amortissement annuels des capitaux.

## 15.2 Les coûts d'exploitation et de maintenance

**Les principaux coûts d'exploitation des préfiltres à gravier et des filtres lents à sable, sont liés aux coûts de nettoyage du filtre** étant donné que ces filtres ne nécessitent pas de produits chimiques. D'une part, **les coûts de fonctionnement resteront bas puisque le nettoyage hydraulique du préfiltre à gravier n'est pas coûteux, et le travail peut être exécuté par l'exploitant.** D'autre part, **le nettoyage hydraulique est très rentable par rapport aux coûts totaux d'exploitation**, puisqu'il réduit la fréquence du nettoyage manuel reconnu comme nécessitant du travail intensif et des coûts élevés, et généralement de la main-d'oeuvre supplémentaire. La fréquence de lavage manuel diffère en fonction du type de filtre. Les filtres à la prise peuvent être nettoyés une fois par semaine; les filtres dynamiques après les fortes pluies. Le nettoyage manuel des préfiltres à gravier se fait tous les trois ou cinq ans, ou même pas du tout, s'il y a un système de vidange efficace. Enfin, la période d'exploitation d'un filtre lent à sable peut durer un à six mois avant le nettoyage.

**Le meilleur moyen d'évaluer les coûts de lavage manuel est de les lier aux temps requis**, compte tenu de la variation significative des salaires des exploitants de stations d'eau. Le nettoyage à la main d'un filtre à la prise ou d'un filtre dynamique de 2 m<sup>2</sup> peut prendre environ une demie heure, si le gravier n'est pas retiré de la chambre de filtration. Pour un préfiltre à gravier le nettoyage prend plus de temps, étant donné que le gravier doit être retiré de la chambre de filtration, transporté au lieu de nettoyage, et réinstallé dans la chambre de filtration. En principe, environ 1,5 m<sup>3</sup> de gravier

peut être nettoyé par personne et par jour. Ainsi, un préfiltre à gravier à flux ascendant exploité à une vitesse de filtration de 0,5 m/h, dans une station de traitement d'une capacité de 240 m<sup>3</sup>/j, nécessitera une main d'oeuvre d'environ 14 personnes/jours, pour le lavage manuel. Autrement dit, trois personnes pourraient nettoyer 20 m<sup>3</sup> de gravier en une semaine. Enfin, la capacité d'une personne à racler une couche épaisse de 2,5 cm d'un filtre lent à sable et à transporter le sable dans des seaux au lieu de lavage peut être de l'ordre de 100 m<sup>2</sup>/j de surface de filtre. Selon ces calculs il

Procédé de traitement		filtre à la prise	préfiltre à gravier à flux ascendant	filtre lent à sable
<i>Système de traitement</i>				
■ vitesse de filtration	V <sub>F</sub>	1.25 m/h	0.5 m/h	0.20 m/h
■ surface du lit filtrant	A	8 m <sup>2</sup>	20 m <sup>2</sup>	50 m <sup>2</sup>
■ hauteur du lit filtrant	H	0.4 m	1 m	1 m
■ volume des matériaux filtrants	V	3.2 m <sup>3</sup>	20 m <sup>3</sup>	50 m <sup>3</sup>
■ unités de filtre	-	2	2	2
■ surface filtrante unitaire		4 m <sup>2</sup>	10 m <sup>2</sup>	25 m <sup>2</sup>
<i>Intervalle de nettoyage</i>				
■ saison sèche	8 mois	2 x / mois	1 x / mois	1 x / 4 mois
■ saison des pluies	4 mois	4 x / mois	2 x / mois	1 x / 4 mois
<i>Temps de nettoyage par filtre</i>				
■ nettoyage hydraulique		-	0.25 personne/h	-
■ nettoyage manuel		0.5 personne/h		8 personnes/h
<i>Temps de nettoyage</i>				
■ saison sèche		16 personnes/h	4 personnes/h	32 personnes/h
■ saison des pluies		16 personnes/h	4 personnes/h	16 personnes/h
<i>Temps de nettoyage annuel</i>				
		32 personnes/h	8 personnes/h	48 personnes/h
<i>Temps de nettoyage manuel</i>				
■ fréquence de lavage manuel des matériaux filtrants		1 x / an	1 x / 5 ans	1 x / 10 ans
■ capacité de nettoyage		1.5 m <sup>3</sup> /personnes/j	1.5 m <sup>3</sup> /personnes/j	1 m <sup>3</sup> /personne/j
■ temps de nettoyage par filtre		1 personne/j	7 personnes/j	25 personnes/j
■ contribution au temps de nettoyage annuel		16 personnes/h	22 personnes/h	40 personnes/h
<b>Temps total de nettoyage annuel</b>		<b>48 personnes/h</b>	<b>30 personnes/h</b>	<b>88 personnes/h</b>

Tableau 8 Temps de nettoyage annuel pour une station de traitement de 240 m<sup>3</sup>/j

s'agit donc de 50 m<sup>2</sup> de surface de filtre lent à sable (vitesse de filtration de 0,20 m/h) pour une station de traitement de 240 m<sup>3</sup>/j. Le lavage manuel de cette surface nécessitera une demie journée de travail pour une personne. D'une manière plus réaliste, deux personnes pourraient racler le sable d'une station de filtre lent à sable de 240 m<sup>3</sup>/j en une demie journée.

Le lavage du sable même peut être réalisé plus tard lorsque les filtres lents à sable sont remis en exploitation. Cependant, une capacité de 240 m<sup>3</sup>/j se répartit en plusieurs unités de préfiltres à gravier et filtres lents à sable; **les différents filtres sont nettoyés successivement pour garantir une alimentation ininterrompue en eau.** Ces capacités spécifiques de nettoyage et le temps de nettoyage annuel nécessaire pour l'exploitation de la station de traitement de 240 m<sup>3</sup>/j sont résumés dans le Tableau 8.

**Etant donné que l'exploitation des préfiltres à gravier et des filtres lents à sable nécessite seulement de la main-d'oeuvre,** toute communauté ayant un intérêt pour s'approvisionner en eau potable peut exploiter de tels filtres. Les coûts de fonctionnement seront réduits au minimum, si la communauté participe au nettoyage des filtres. Toutefois, il reste le coût lié à l'exploitation et la maintenance de routine de la station de traitement qui seront de la responsabilité d'un exploitant. L'exploitant peut influencer de manière significative l'efficacité, la fiabilité et les coûts de traitement, et la communauté devrait apprécier son travail et le rémunérer en conséquence. **Les procédés de traitement entièrement autonomes ne dépendent donc pas d'appui financier et technique externe.** Les coûts d'exploitation et de maintenance importants, qui sont souvent trop élevés pour une communauté rurale, peuvent être réduits à un minimum absolu, par l'installation de procédés de traitement autonomes, tels les préfiltres à gravier et les filtres lents à sable. Cela est un critère pour une exploitation à long terme de tout système d'alimentation en eau.

### 15.3 Les coûts globaux des systèmes d'alimentation en eau

**Les coûts de construction de la station de traitement peuvent constituer une part importante des coûts d'investissement globaux du système d'alimentation en eau.** Les comparaisons de coûts entre différentes alternatives d'alimentation en eau devraient donc être faites à la phase préliminaire de conception du projet.

**Le choix de la source d'eau devrait se baser sur des considérations techniques et économiques.** Les coûts d'exploitation et de maintenance d'un système gravitaire sont bas, comparativement à une station de filtre lent à sable, qui nécessite environ 40% des coûts de construction initiaux pour l'exploitation de la station sur une période de 20 ans environ. Dans ces conditions, il pourrait être plus économique de rechercher une source d'eau de bonne qualité mais plus éloignée et d'investir dans une conduite d'eau plus longue que dans la station de traitement.

**Les coûts de construction d'un système d'alimentation en eau en milieu rural peuvent être subdivisés comme suit:**

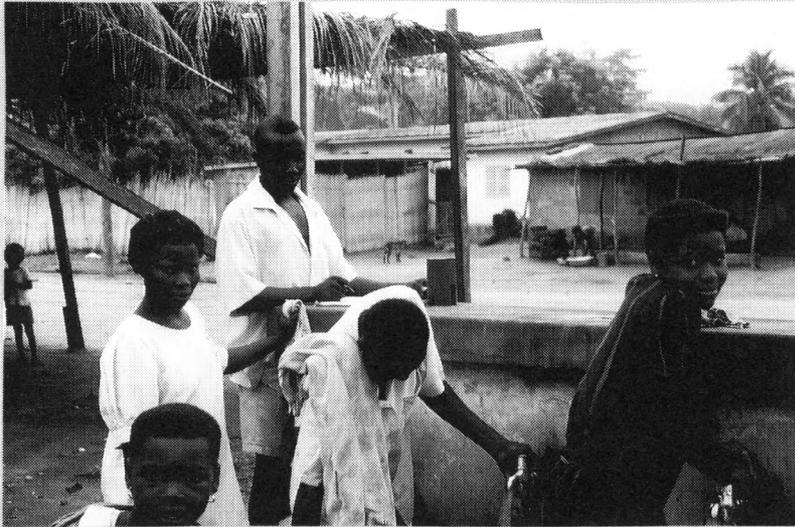
#### Répartition des coûts de construction:

■ travaux à la prise	5 - 25%
■ station de traitement	15 - 30%
■ système de distribution	50 - 70%

**Les coûts d'exploitation et de maintenance annuelles doivent être ajoutés aux coûts de recouvrement annuel du capital,** pour obtenir une analyse correcte des coûts. Cependant, étant donné que les coûts d'exploitation et de maintenance diffèrent grandement, une estimation générale est difficile à faire. 2% des coûts de construction, c'est peut-être un chiffre indicatif pour estimer les coûts d'exploitation et de maintenance des préfiltres à gravier et des filtres lents à sable, sans compter les frais d'amortissement de la station de traitement.

**Enfin, la composante des coûts de devises locales et étrangères peut également être un facteur important dans la préparation du budget d'un projet.** Les préfiltres à gravier et les filtres lents à sable sont une technologie essentiellement autonome qui est entièrement reproductible avec des moyens locaux. Sur la base des coûts de construction, 80-90% des coûts d'investissement sont des dépenses pour les matériaux de construction tels que le gravier, le sable, le ciment, les briques et les moellons, ainsi que la main-d'oeuvre, tous entièrement disponibles localement. Les 10 à 20% restants constituent des coûts d'achat des conduites, vannes et accessoires (déversoirs en V, tiges de jaugeage) qui peuvent être en partie importés. **Donc, les préfiltres à gravier et les filtres lents à sable font usage au maximum de ressources locales, nécessitent principalement des devises locales et réduisent les besoins en devises étrangères.**

## **Des cadenas pour le recouvrement des factures d'eau**



La tribu des Ewe en Afrique de l'Ouest est reconnue pour son esprit et son leadership communautaires puissants. Ces attributs forment également la base de la réussite d'un projet d'approvisionnement en eau exécuté comme un projet d'auto-assistance il y a six ans. La population souffrait de la bilharziose et du vers de Guinée qui s'étaient étendus dans tout le village par les mares qui servaient de sources d'eau pour les villageois et de zone de développement des deux maladies tropicales. La communauté décida d'améliorer leur approvisionnement en eau lors de leur assemblée annuelle tenue à Pâques. Kolly, l'un des natifs du village ayant reçu une formation à l'étranger en génie civil, conçut le système d'alimentation en eau. Il consistait en des préfiltres à gravier et des filtres lents à sable, alimentés par gravité à partir de la plus grande mare, une station de pompage, un réservoir situé au-dessus de la colline centrale et un système de distribution alimentant les neuf campements totalisant 3 500 habitants.

La communauté, qui contribuait en espèces et en nature dans le projet, pouvait assurer la moitié du coût total du projet qui fut achevé en trois années de dure labour communautaire. Le leadership n'était pas toujours facile pendant cette période puisqu'il fallait résoudre des problèmes techniques et motiver la communauté au travail. Cependant, le dernier robinet de la fontaine publique la plus éloignée fut installé et les pompes électriques branchées au système. A ce moment, l'eau devait commencer à couler mais ce ne fut pas le cas. Parce que certains campements n'avaient pas encore payé leurs frais au comité d'eau, l'exploitation du réseau fut reportée jusqu'à ce que

toutes les sommes dues soient payées. La communauté connut des moments durs; cependant, lorsque le dernier Cédi fut payé à «M Argent» le trésorier du projet surnommé ainsi, une grande cérémonie fut organisée par la communauté entière pour inaugurer le nouveau système d'alimentation en eau.

Les fontaines publiques situées dans chaque campement réduisirent considérablement la distance de parcours pour atteindre les sources d'eau. La plupart des habitants apprécièrent la chose, sauf quelques individus qui cherchaient à savoir pourquoi ils devaient encore payer pour l'eau, alors qu'ils ont contribué beaucoup au projet. Le comité d'eau fixa un taux mensuel de 500 cédis pour chaque adulte, l'équivalent d'une bouteille de bière. La facture d'électricité, le salaire des deux exploitants et les coûts de maintenance mineurs devaient être couverts par les frais d'approvisionnement en eau facturés séparément dans chaque campement. Malgré de longues réunions avec le comité d'eau, quelques villageois ne voulaient toujours pas payer le taux fixé. Cela suscita des disputes sur la tarification et compromit l'exploitation régulière du système d'alimentation en eau jusqu'à ce que le forgeron local suggéra l'installation de cadenas avec des tubes en acier sur les robinets. Tous les robinets étaient ainsi équipés de cadenas permettant un approvisionnement contrôlé en eau à tous ceux qui réglaient régulièrement leur facture d'eau.

Aujourd'hui, les opposants de la tarification d'eau ne contestent plus, et les cadenas installés dans les fontaines publiques empêchent les gens des villages voisins de prendre de l'eau de manière illégale.



## 16. Exemples de dimensionnement

Cinq exemples de dimensionnement sont présentés ci-après pour illustrer l'application des préfiltres. La population des communautés rurales varie souvent entre 500 et 5 000 habitants. La demande quotidienne d'eau dépend du niveau de service; à savoir, si la population est approvisionnée par des fontaines publiques, des branchements domestiques (seulement un robinet dans la cour ou avec installations sanitaires à eau courante); ainsi que du prix de l'eau et du système de tarification utilisé, c'est-à-dire un tarif forfaitaire ou une facturation sur la base du volume consommé. Dans les systèmes d'alimentation en eau avec fontaines publiques, la demande d'eau quotidienne peut varier entre 20 et 30 litres par personne.

Les exemples suivants concernent l'approvisionnement d'un village ayant une population de 1 500 habitants et un taux de croissance annuel de 3%. L'approvisionnement en eau actuel avec les fontaines publiques atteint 20 litres d'eau par habitant, mais, les installations devront être dimensionnées pour satisfaire aux besoins futurs en eau de la population concernée. **Alors, pour une période de 10 ans, le dimensionnement d'une station de traitement exploitée 24 heures sur 24 nécessitera la capacité suivante:**

■ Population actuelle	1 500 habitants
population dans 10 ans (1 + 0,003) <sup>10</sup> × 1 500 =	2 000 habitants
■ demande d'eau spécifique à l'année 0	20 l/pers/j
demande d'eau spécifique à l'année 10	30 l/pers/j
■ demande totale d'eau domestique par jour à l'année 0	1 500 × 20 = 30 m <sup>3</sup> /j
■ demande totale d'eau domestique par jour à l'année 10	2 000 × 30 = 60 m <sup>3</sup> /j
■ Capacité de la station de traitement	60 m <sup>3</sup> /j
60 : 24 =	2,5 m <sup>3</sup> /h

**La source d'eau brute et sa qualité déterminent le niveau et le type de traitement.** Les paramètres les plus importants de la conception d'une unité de prétraitement sont le niveau de turbidité et les valeurs res-

pectives des pointes. Les données sur la qualité de l'eau brute sont souvent rares et les documents sur les valeurs de pointes ne sont généralement pas disponibles. Avec le temps, les sources d'eau brute peuvent se détériorer en qualité et en quantité. Des structures de protection sont par conséquent nécessaires en vue d'une utilisation à long terme de la source. Malgré cela, il est difficile d'empêcher la détérioration de la qualité de l'eau et, par conséquent, **l'agencement de la station de traitement devrait permettre l'intégration d'étapes supplémentaires de prétraitement, si elles s'avèrent nécessaires à l'avenir.** La Fig. 53 illustre les variations annuelles possibles de la qualité de l'eau brute, pour les exemples présentés.

### 16.1 Le traitement des eaux d'une rivière de plateau

Notre village est situé dans une région collinaire d'un pays en Afrique de l'Ouest. La zone est rurale et peu peuplée. Le climat est agréable, avec des nuits fraîches et une pluviométrie d'environ 2 000 mm, idéale pour la culture du thé et du café. **Une petite rivière des plateaux coule à travers les plantations, situées sur les pentes douces des collines et entourées de forêts denses.** A l'avenir, les champs seront étendus jusqu'au-dessus des collines. Le gouvernement central a récemment promis la construction d'une route jusqu'à dans le bassin versant pour faciliter l'exploitation du bois. Un approvisionnement en eau est prévu pour compenser les villageois de leur petite rivière polluée.

Après une inspection sanitaire du bassin versant, ainsi qu'une discussion avec le chef de village et le comité d'eau récemment mis en place, il a été décidé de construire des filtres lents à sable selon le graphique montré dans la Fig. 54. Cependant, **il s'avère nécessaire de protéger les filtres lents à sable contre des charges importantes de limon drainées par la rivière pendant les courtes mais fortes pluies.** L'algorithme discuté et présenté dans la Fig. 43 du chapitre 12 et joint en Annexe 6 est utilisé pour déterminer le type de prétraitement requis. La Fig. 54 montre que **les filtres lents à sable planifiés sont à présent suffisamment protégés par les filtres dynamiques; cependant à l'avenir, si la qualité de l'eau brute se détériore, dû à la surexploitation du bassin versant, des filtres à la prise peuvent s'avérer nécessaires.**

Nota:

Les Fig. 54 - 57 sont identiques à la Fig. 43 mais sont inclus ici pour faciliter l'utilisation.

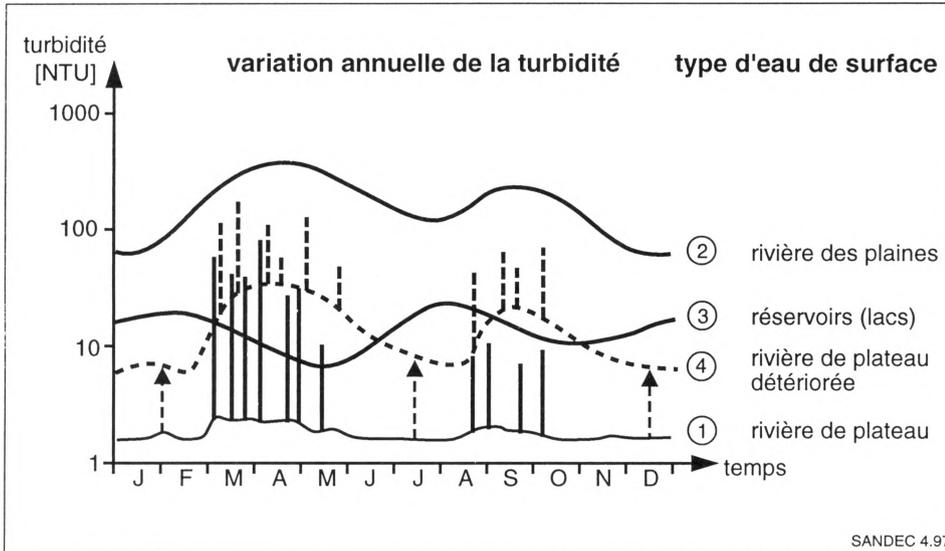


Fig. 53

Variation annuelle de la turbidité de différentes sources d'eau de surface

Les différentes unités du filtre pour le traitement de l'eau d'une rivière de plateau sont dimensionnées comme suit:

#### Cas de notre village

■ <b>capacité de la station de traitement</b>	
60:24 =	60 m <sup>3</sup> /j 2,5 m <sup>3</sup> /h
■ <b>filtre dynamique</b>	
vitesse de filtration	5 m/h
surface totale de filtre requise	
2,5 m <sup>3</sup> /h : 5 m/h =	0,5 m <sup>2</sup>
nombre d'unités de filtre	1
■ <b>filtres lents à sable</b>	
vitesse de filtration	0,125 m/h
surface totale de filtre requise	20 m <sup>2</sup>
nombre d'unités de filtre	2
surface de filtre par unité	10 m <sup>2</sup>
■ <b>filtre à la prise</b>	
(prévue en cas de détérioration future de la qualité de l'eau)	
vitesse de filtration	1 m/h
surface totale de filtre requise	2,5 m <sup>2</sup>
nombre d'unités de filtre	1

Un agencement possible du filtre dynamique est illustré en Annexe 6/1 et des valeurs guides de dimensionnement sont résumées dans la Fig. 37 du chapitre 10. L'agencement et le dimensionnement des filtres lents à sable sont décrits en Annexe 3.

## 16.2 Le traitement d'un cours d'eau de plaine

Le village en question peut être situé dans une vallée des Andes d'Amérique Latine. A cette haute altitude, les pâturages et les champs peuvent prédominer, tandis que les forêts sont rares. Les conditions de vie de la population sont difficiles et les paysans sont obligés d'utiliser tout terrain fertile comme moyen de subsistance et de cultures de rente. **La seule source d'eau pérenne et d'approvisionnement de la population est la rivière de la vallée, chargée de terre latéritique érodée et entraînée dans le cours d'eau.** Le débit de quelques sources émergeant généralement au bas des collines est bas et les sources tarissent à la saison chaude. Il n'y a pas de nappe phréatique.

La rivière et ses petites chutes en amont permettent heureusement la construction d'un système d'alimentation en eau par gravité. Mais **la rivière est très polluée par les villages situés dans la partie amont de la vallée.** La «Junta Administrativa», un comité villageois responsable de l'approvisionnement de la communauté en eau, est consciente de ce risque en matière de santé publique et a initié un projet d'alimentation en eau avec l'appui d'une organisation non gouvernementale. Sur la base des critères de sélection illustrés dans la Fig. 55, l'équipe de projet a conçu **un système de traitement d'eau consistant en des filtres à la prise, des préfiltres à gravier à flux horizontal et des filtres lents à sable.** Ils pouvaient aussi utiliser comme alternatives les préfiltres à gravier à flux ascendant en série qui sont plus économiques que les préfiltres à gravier à flux horizontal, et leur nettoyage hydraulique est également plus facile.

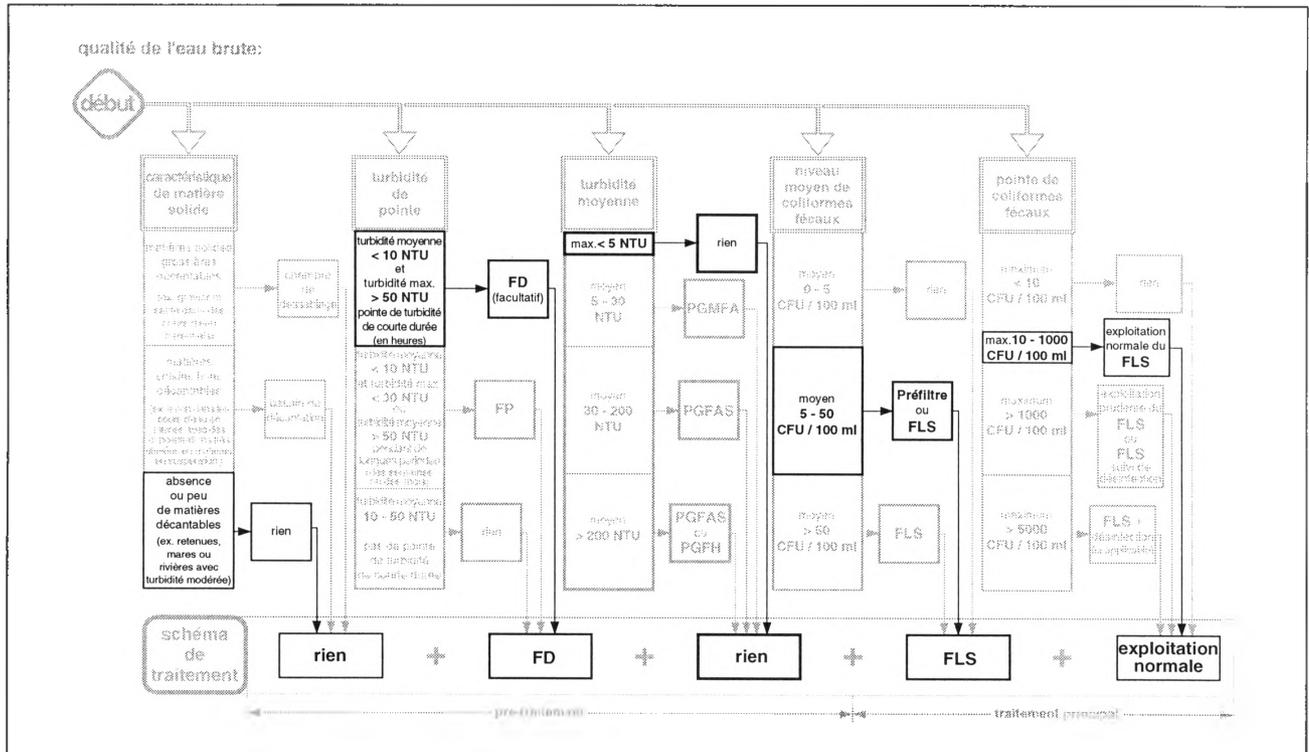


Fig. 54 Option de traitement pour une rivière de plateau

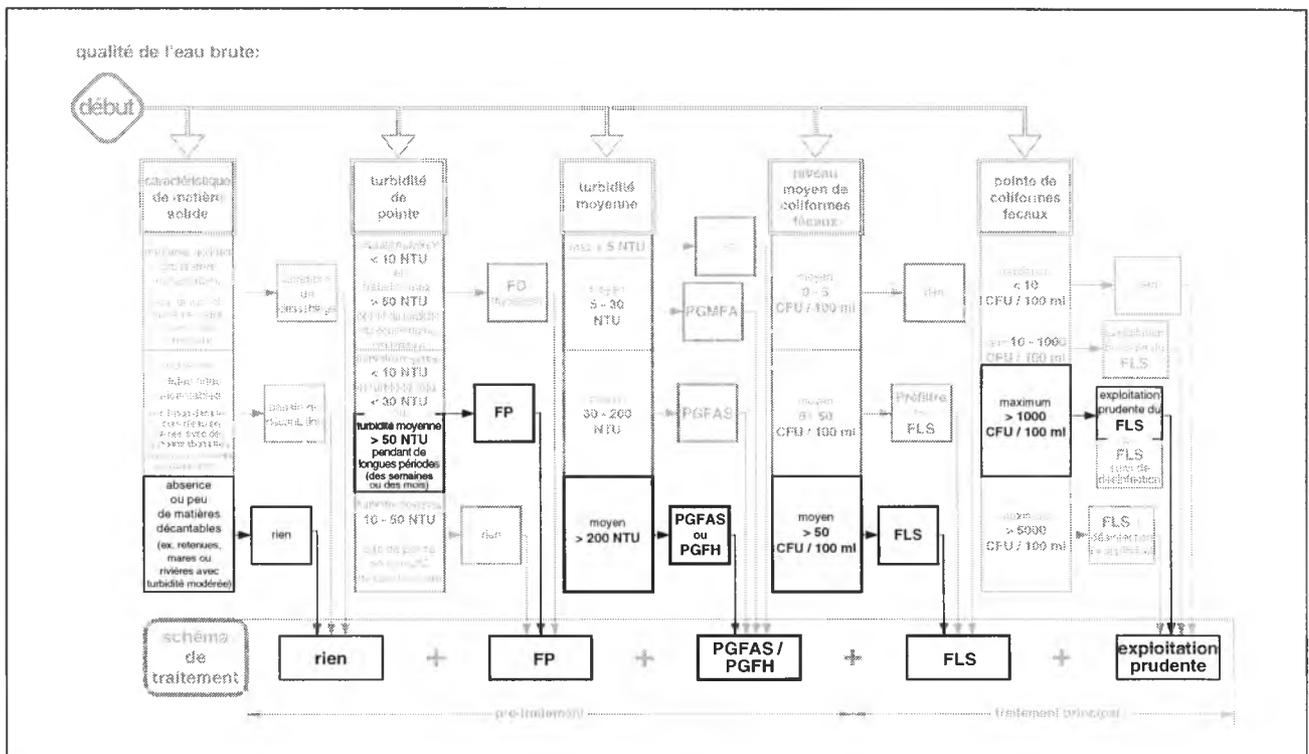


Fig. 55 Option de traitement pour un cours d'eau de plaine

Les différentes unités de filtre pour le traitement de l'eau d'un cours d'eau de plaine sont dimensionnées comme suit:

**Cas de notre village:**

■ **capacité de la station de traitement**

60:24 = **60 m<sup>3</sup>/j**  
**2,5 m<sup>3</sup>/h**

■ **filtre à la prise**

vitesse de filtration **0,8 m/h**  
surface totale de filtre **3,2 m<sup>2</sup>**  
nombre d'unités de filtres **2**  
surface de filtre par unité **1,6 m<sup>2</sup>**

■ **Préfiltre à gravier à flux horizontal**

vitesse de filtration **0,5 m/h**  
surface totale de filtre **5 m<sup>2</sup>**  
nombre d'unités de filtre **2**  
surface de filtre par unité **2,5 m<sup>2</sup>**  
agencement du lit filtrant  
1ère couche de gravier 12-18 mm Ø **3,5 m**  
2ème couche de gravier 8-12 mm Ø **2,5 m**  
3ème couche de gravier 4-8 mm Ø **1 m**

■ **Filtres lents à sable**

vitesse de filtration **0,125 m/h**  
surface totale de filtre **20 m<sup>2</sup>**  
nombre d'unités de filtre **2**  
surface de filtre par unité **10 m<sup>2</sup>**

■ **Préfiltres à gravier en série à flux ascendant**

(comme alternative aux préfiltres à gravier à flux horizontal)  
vitesse de filtration **0,4 m/h**  
surface de filtre **6,25 m<sup>2</sup>**  
nombre d'unités de filtre **3**  
surface de filtre par unité **6,25 m<sup>2</sup>**  
agencement du lit filtrant  
1ère unité de filtre 12-18 mm Ø **1 m**  
2è unité de filtre 8-12 mm Ø **1 m**  
3è unité de filtre 4-8 mm Ø **1 m**

Un agencement possible des filtres à la prise est illustré en Annexe 6/2, et les valeurs guides de conception sont résumées dans la Fig. 37 du chapitre 10. Un exemple de préfiltres à gravier à flux horizontal est joint

en Annexe 6/3 et les directives de conception sont listées dans la Fig. 39. L'agencement et la conception des préfiltres à gravier à flux ascendant sont décrits en Annexe 64 et dans la Fig. 38 et ceux des filtres lents à sable en Annexe 3.

### 16.3 Traitement de l'eau de retenue

Le village peut être situé en Asie, un paysage très plat et entrelacé de plusieurs canaux régulant la nappe d'eau nécessaire à la culture du riz. Les terres cultivables sont très rares et par conséquent, même les plus petites parcelles sont utilisées pour l'agriculture. Néanmoins, on peut apercevoir de grandes lagunes pour l'élevage des canards. Dans le passé, la population utilisait le canal comme source d'eau. Cependant, cette source est devenue très polluée à cause des canots à moteur et des rejets d'eaux usées industrielles. Aussi, **les mares, bien qu'exposées à la pollution de l'aquaculture et de l'agriculture, sont les meilleures sources d'eau brute de nos jours, sur le plan de la qualité.** L'eau souterraine peut à la longue ne plus être utilisée à cause de la salinisation par l'infiltration progressive de l'eau de mer.

Pour éviter de construire un système d'alimentation en eau avec deux étapes de pompage, la station de traitement de l'eau devra être située au point le plus bas, près de la digue de la lagune. Elle devra être alimentée par gravité, pour assurer son exploitation continue. **La qualité microbiologique de l'eau est mauvaise à cause des canards et des activités humaines autour des mares.** Par ailleurs, l'utilisation des engrais agricoles accentue l'eutrophisation de l'eau de ce retenue. Un système de traitement, comme illustré dans la Fig. 56, est par conséquent nécessaire, pour transformer l'eau brute en eau potable. Les habitudes de la population en matière d'eau ne permettront pas l'alimentation en eau chlorée, parce qu'elle affecte le goût du thé. **Il a donc été décidé de construire un système de traitement appliquant des procédés de purification naturels, comme les préfiltres à gravier à flux ascendant et les filtres lents à sable.** Une brigade de construction a commencé la construction de la station de traitement. Celle-ci était mise en exploitation six mois plus tard. Cette courte période de construction n'a été possible que grâce à la disponibilité du matériel local.

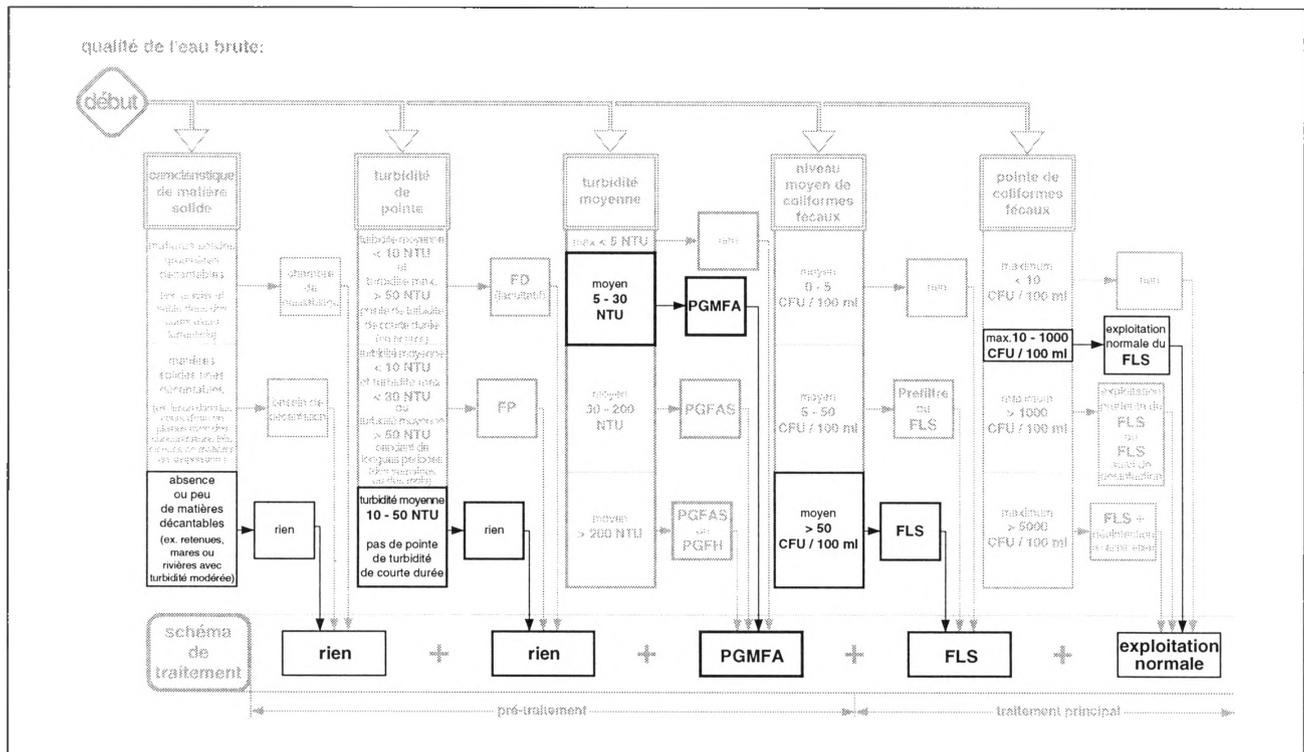


Fig. 56 Option de traitement d'eau de retenue

Les différentes unités de filtre pour le traitement de l'eau de retenue sont dimensionnées comme suit:

**Cas de notre village**

■ **Capacité de la station de traitement** **60 m<sup>3</sup>/j**  
60 : 24 = **2,5 m<sup>3</sup>/h**

■ **préfiltres à gravier multicouches à flux ascendant**  
vitesse de filtration **0,3 m/h**  
surface totale de filtre **8,33 m<sup>2</sup>**  
nombre d'unités de filtre **2**  
surface de filtre par unité **4,2 m<sup>2</sup>**  
agencement du lit filtrant  
1ère couche de gravier 8-12 mm Ø **0,4 m**  
2ème couche de gravier 6-10mm Ø **0,3 m**  
3ème couche de gravier 2-6 mm Ø **0,3 m**

■ **filtre lents à sable**  
vitesse de filtration **0,125 m/h**  
surface totale de filtre **20 m<sup>2</sup>**  
nombre d'unités de filtre **2**  
surface de filtre par unité **10 m<sup>2</sup>**

Un modèle d'agencement de préfiltre à gravier multicouches à flux ascendant est illustré en Annexe 6/4 et des valeurs guides de dimensionnement sont résumées dans la Fig. 38 du chapitre 10. L'agencement et le dimensionnement des filtres lents à sable sont décrits en Annexe 3.

**16.4 La réhabilitation d'une station de filtre lent à sable**

Enfin, le village en question peut avoir achevé son système communautaire d'alimentation en eau il y a 25 ans. Cependant, la situation dans ce pays en Afrique de l'Ouest a changé entre temps. La population s'est accrue, et la plupart des jeunes gens ont quitté le village pour la ville. Leurs revenus dans la capitale économique leur permettent de construire des bâtiments importants qu'ils utilisent pendant les week-ends et à la retraite, et de soutenir des projets de construction d'infrastructures au village. L'inflation et la chute des prix des produits agricoles obligent les populations rurales à pratiquer une agriculture extensive. Des voies d'accès sont construites pour améliorer les capacités dans le domaine des transports à la capitale et de l'exportation

à l'étranger. Les forêts indigènes sont coupées et le bois tropical exporté. Les structures robustes d'alimentation en eau permettent un approvisionnement plus ou moins régulier du village en eau.

Cependant, **la qualité de l'eau distribuée s'est sérieusement détériorée pendant les dix dernières années et a suscité des plaintes de la part des consommateurs. Les bassins de décantation existants et les filtres lents à sable ne peuvent plus s'accommoder avec la turbidité accrue de l'eau brute.**

La petite rivière des plateaux, qui était bien protégée auparavant par une forêt dense, est maintenant exposée à de nombreuses sources de pollution. L'agriculture extensive et non contrôlée a augmenté l'érosion du sol; le cheptel a augmenté considérablement et les villageois voisins ont commencé à cultiver dans le bassin versant. Comme il a été montré dans la Fig. 53, la turbidité de l'eau de rivière s'est accrue perceptiblement et les sources tarissent maintenant en saison sèche. La durée d'exploitation des filtres lents à sable est de quelques semaines en saison sèche et de quelques jours à la saison pluvieuse. Le sable a donc été retiré des bas-

sins de filtration et l'eau non filtrée coule maintenant dans le réservoir. **Etant donné que les bassins de décantation ne peuvent plus s'accommoder avec la turbidité accrue, ils doivent être convertis en préfiltres à gravier pour permettre une filtration lente à sable raisonnable.** Malheureusement, les bassins de décantation en voûte ne sont pas facilement transformables en préfiltres à gravier. Dans de telles situations, une partie du filtre lent à sable peut être utilisée pour l'installation d'un préfiltre à gravier à flux ascendant. La perte en capacité de la partie réduite du filtre lent à sable peut être compensée par des vitesses de filtration plus élevées de l'eau brute prétraitée en conséquence.

L'option pour la réhabilitation d'une station de filtre lent à sable surchargée est illustrée dans la Fig. 57

Un modèle d'agencement possible d'un préfiltre à gravier multicouches à flux ascendant est illustré en Annexe 6/4, et des valeurs guides de dimensionnement sont résumées dans la Fig. 38 du chapitre 10. L'intégration d'un préfiltre à gravier à flux ascendant dans un bassin de décantation ou dans un filtre lent à sable est illustrée schématiquement en Annexe 6/5.

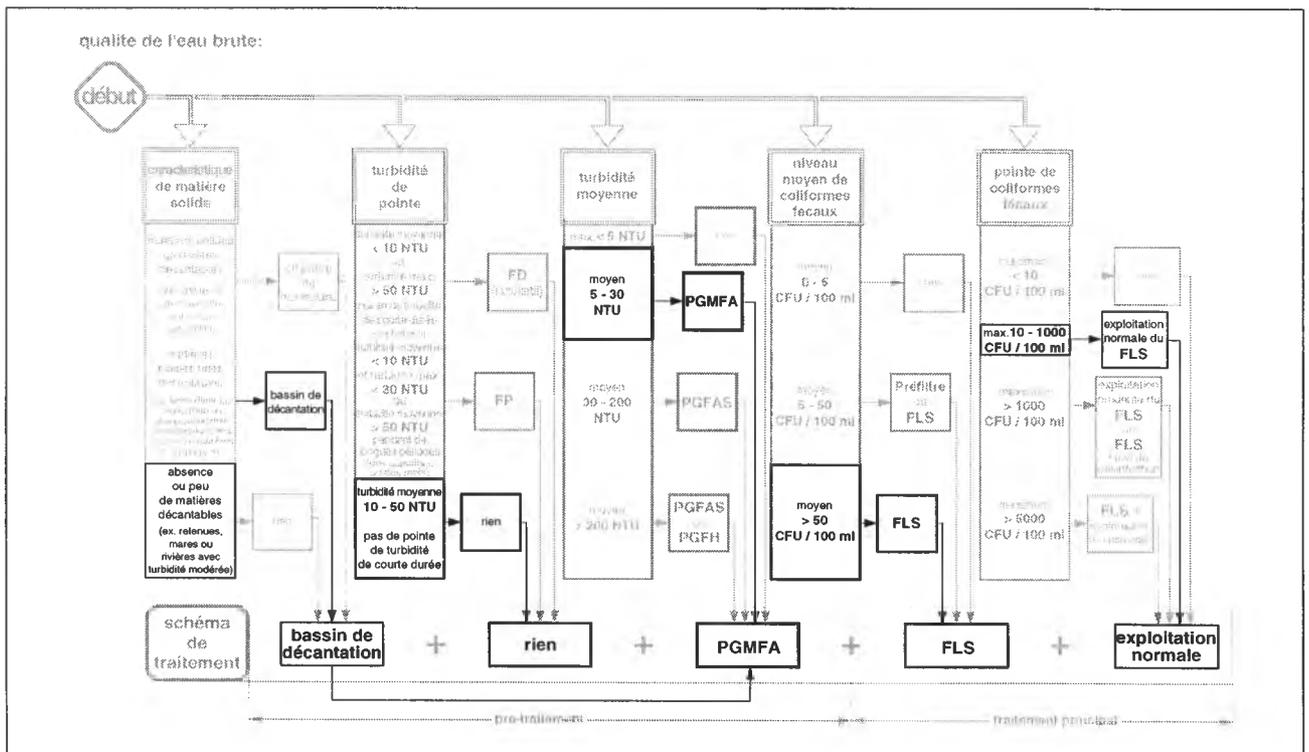


Fig. 57 Option pour la réhabilitation d'une station de filtre lent à sable

La station de traitement réhabilitée est dimensionnée comme suit:

■ <b>présentation de la station existante</b>		
capacité de traitement initiale		<b>60 m<sup>3</sup>/j</b>
	60:24 =	2.5 m <sup>3</sup> /h
■ <b>bassin de décantation existant</b>		
	longueur	4 m
	largeur	1.5 m
	profondeur	1.7 m
	volume du bassin	10 m <sup>3</sup>
	nombre de décanteurs	1
	charge hydraulique	0.4 m/h
	temps de séjour	4 h
■ <b>filtres à sable lents existants</b>		
	longueur du filtre	5 m
	largeur du filtre	2 m
	surface du filtre	10 m <sup>2</sup>
	nombre de filtres	2
	vitesse de filtration	0.125 m/h
<b>réhabilitation de la station de traitement</b>		
■ <b>nouvelle capacité de la station</b>		
	90:24 =	<b>90 m<sup>3</sup>/j</b>
		3.75 m <sup>3</sup> /h
1 ère variante		
transformation du bassin de décantation en deux préfiltres à gravier à flux ascendant		
■ <b>préfiltres à gravier multicouches à flux ascendant</b>		
	surface totale de filtration	6 m <sup>2</sup>
	nombre de filtres	2
	surface d'un filtre	3 m <sup>2</sup>
	vitesse de filtration	0.6 m/h
caractéristiques du lit filtrant		
	1 ère couche de gravier Ø 12 - 18 mm	0.7 m
	2 ème couche de gravier Ø 8 - 12 mm	0.4 m
	3 ème couche de gravier Ø 4 - 8 mm	0.4 m
■ <b>filtres lents à sable</b>		
	surface totale de filtration	20 m <sup>2</sup>
	nombre de filtres	2
	surface d'un filtre	10 m <sup>2</sup>
	vitesse de filtration	0.19 m/h
2 ème variante		
transformation d'une partie des filtres lents à sable en préfiltres à gravier à flux ascendant		
■ <b>bassin de décantation existant</b>		
	nouvelle charge hydraulique	0.6 m/h
	nouveau temps de séjour	2.7 h
■ <b>préfiltres à gravier à flux ascendant</b>		
intégrés dans le filtre lent à sable		
	longueur du filtre	1.25 m
	largeur du filtre	2 m
	surface du filtre	2.5 m <sup>2</sup>
	nombre de filtres	2
	surface totale de filtration	5 m <sup>2</sup>
	vitesse de filtration	0.75 m/h
caractéristiques du lit filtrant		
	1 ère couche de gravier Ø 12 - 18 mm	0.7 m
	2 ème couche de gravier Ø 8 - 12 mm	0.4 m
	3 ème couche de gravier Ø 4 - 8 mm	0.4 m
■ <b>nouvelles caractéristiques des</b>		
filtres lents à sable		
	longueur disponible	3.75 m
	largeur disponible	2 m
	surface d'un filtre	7.5 m <sup>2</sup>
	nombre de filtres	2
	surface totale de filtration	15 m <sup>2</sup>
	nouvelle vitesse de filtration	0.25 m/h

## 16.5 Dimensionnement standard de stations de traitement d'eau compactes

Les projets de station de traitement d'eau peuvent être exécutés sur la base d'un dimensionnement standard, pour réduire les apports en matière de conception ainsi que le temps et les coûts de construction. Cette approche est spécialement appropriée dans les programmes d'approvisionnement en eau en milieu rural, pour la construction de plusieurs stations de traitement devant traiter des eaux brutes de qualité similaire. Dans de telles situations, il est possible de préconiser **des procédures de construction de routine qui réduisent le temps de construction. De plus, l'utilisation des modèles compacts et la supervision soignée de la construction baisseront les coûts d'investissement et permettront l'utilisation de procédures de construction économiques, telles la technique de ferro-ciment.** Les modules de dimensionnement standard s'appliquent souvent à une gamme variée de capacités de dimensionnement. Ils peuvent se réaliser successivement en différentes phases de la construction, pour satisfaire à la demande d'eau de la communauté. Tout projet de traitement d'eau devra néanmoins être adapté à la situation locale. Par conséquent, il nécessite une évaluation critique des conditions actuelles.

Un exemple de dimensionnement standard est illustré en Annexe 6/6. Le(s) préfiltre(s) à gravier à flux ascendant, le(s) filtre(s) lent(s) à sable et un réservoir sont intégrés dans une structure. Cet exemple utilise une forme circulaire, souvent appliquée dans la construction de réservoir, et prend en compte des techniques de construction locales. **Un anneau circulaire placé autour du réservoir central fournit la place pour deux filières de traitement comprenant des préfiltres à gravier à flux ascendant et des filtres lents à sable.** La capacité du modèle illustré atteint  $30 \text{ m}^3/\text{j}$ . Aussi, deux unités standards sont requises pour couvrir la demande d'eau du village en question. Ces deux unités peuvent être situées à des endroits différents, pour traiter différentes sources d'eau brute, et peuvent améliorer ainsi la fiabilité du système d'alimentation en eau. Selon la

qualité de l'eau brute, la structure illustrée pourrait être utilisée pour abriter des systèmes de traitement alternatifs comme par exemple les préfiltres à gravier à flux ascendant installés dans l'anneau externe et deux filtres lents à sable placés dans le réservoir central. Un tel dispositif-type nécessiterait un réservoir séparé.

**La construction de petites unités standards permettra également un accroissement en phases de la capacité de la station de traitement,** pour satisfaire les demandes en eau. Un autre avantage d'une exécution en phases est de pouvoir intégrer l'expérience acquise dans l'exploitation, dans le dimensionnement des agrandissements de la station. Par ailleurs, **les filtres permettent une exploitation à des régimes de filtration plus élevés** que la valeur nominale, sans affecter la qualité de l'eau filtrée ou sans réduire substantiellement la durée de d'exploitation du filtre. La vitesse de filtration des filtres lents à sable peut être par exemple augmenté de 0,1 à 0,2 m/h (marge recommandée dans la littérature). Avec un prétraitement efficace et l'utilisation de sable plus gros que 0,15 - 0,35 mm (marge recommandée dans la littérature pour la taille spécifique du sable  $d_{10\%}$ ), il peut être augmenté à 0,3 et exceptionnellement à 0,4 m/h.

**Les unités de filtre d'une station de traitement d'eau compacte sont dimensionnées comme suit:**

### Cas de notre village:

■ <b>capacité de la station de traitement</b>	<b>30 m<sup>3</sup>/j</b>
	30 : 24 = 1,25 m <sup>3</sup> /h
■ <b>préfiltres à gravier multicouches à flux ascendant</b>	
vitesse de filtration	0,3 m/h
surface totale de filtre	4,2 m <sup>2</sup>
■ <b>filtres lents à sable</b>	
vitesse de filtration	0,125 m/h
surface totale de filtre	10 m <sup>2</sup>

## 17. Observations finales

Si vous êtes parvenu à cette partie du manuel, c'est que vous êtes soit un lecteur expérimenté qui consulte premièrement le sommaire et la conclusion des publications, soit une personne ayant un intérêt réel dans la technologie des préfiltres à gravier. Après avoir fourni assez d'évidences en faveur des préfiltres en général et des préfiltres à gravier en particulier, **ce manuel va conclure avec quelques fortes affirmations sur l'approvisionnement en eau en milieu rural** dans les pays en développement, en mettant l'accent sur quelques aspects faibles relatifs à la réalisation des stations de traitement d'eau.

1. **Il ne suffit pas de lire des publications pour que l'eau atteigne la population.** Par conséquent, ce manuel présente une technologie pratique pour une application sur le terrain. Il n'est nullement destiné au simple plaisir intellectuel, ni à être classé sur une étagère de bibliothèque. Le lecteur est donc gentiment prié **d'agir**, dans le cadre de son champ d'activité, pour la promotion et l'usage de technologies appropriées.
2. Approprié signifie adapté aux conditions locales. **Ainsi aucune technologie ne peut être universellement appropriée.** Cela est également vrai pour la filtration lente à sable. L'expérience négative rencontrée souvent avec ce procédé de traitement est fréquemment due à la qualité inappropriée de l'eau brute.
3. **Des niveaux de technologie équivalents constituent un facteur critique** pour réaliser un système durable. De l'eau mal flocculée et décantée, pré-traitée par des procédés complexes et instables, créera des difficultés d'exploitation même aux filtres lents à sable simples et robustes. Par contre de l'eau brute traitée par des procédés simples de préfiltration répondront généralement aux exigences des filtres lents à sable.
4. **Les besoins réels et les aspects économiques** constituent des facteurs décisifs lors du choix d'un système d'alimentation en eau. L'association des préfiltres, des préfiltres à gravier et des filtres lents à sable conduit à des combinaisons fascinantes de traitement puisqu'ils sont basés sur une technologie fiable, durable et reproductible. Cependant, étant donné que ces filtres nécessitent d'importants tra-

vaux de construction, ils ne devront être proposés que lorsqu'aucune source d'eau de qualité supérieure n'est disponible et que le traitement de l'eau disponible est vraiment indispensable.

5. Ce manuel est un document essentiellement technique. Les systèmes d'approvisionnement en eau peuvent être comparés aux ordinateurs, puisqu'ils dépendent tous les deux **des «hardwares et des logiciels»**. Les utilisateurs des systèmes d'approvisionnement en eau doivent prendre des décisions, contribuer et exploiter ces infrastructures. Les aspects socio-culturels doivent être intégrés au projet et les aspects institutionnels examinés avec soin. Le niveau de formation, l'appui et l'assistance aux exploitants influencent grandement la performance et la durée de vie du système. Aussi, une technologie appropriée et durable nécessite toujours une approche pluridisciplinaire comme illustré dans la Fig. 58.

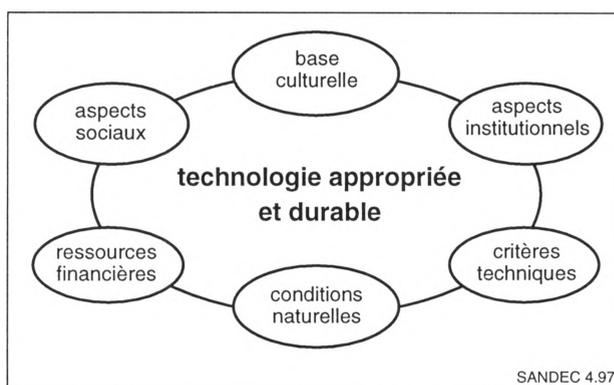


Fig. 58 Approches pluridisciplinaires pour développer des technologies appropriées et durables

6. **L'échange d'information devrait être réciproque.** Votre expérience dans les préfiltres à gravier et les filtres lents à sable est importante et votre réaction est essentielle. Par conséquent, SANDEC espère recevoir vos points de vue sur ce manuel, spécialement votre expérience pratique avec la technologie de filtre présentée.

L'approvisionnement en eau saine est un grand défi. Nous espérons que ce manuel est une étape en direction de la politique suivante, formulée à New Delhi [61] à la fin de la Décennie Internationale pour l'Approvisionnement en Eau Potable et pour l'Assainissement.

**« Un peu pour tous,  
plutôt que plus pour quelques-uns »**



sub  
en  
e  
r  
or  
e  
n  
b  
n  
e  
u  
n  
n  
e  
65



# Références

- [1] Baker M.N., *The Quest for Pure Water*, AWWA, 1948 + 1981
- [2] Wagner, E.G., *Upgrading Drinking Water Treatment Plants*, WHO Working Group for Operation and Maintenance, (in press)
- [3] Hespagnol I., *Investigación Sobre el Comportamiento y Aplicabilidad de los Filtros Lentos en el Brazil*, Universidad de São Paulo, Brasil, 1969
- [4] Wegelin M., et al, *Slow Sand Filter Rehabilitation and New Treatment Plant Design in Rural Cameroon*, Proceeding 3rd International Slow Sand/Alternative Biofiltration Conference, John Wiley & Sons, 1996
- [5] NEERI, *Evaluation of Four Slow Sand Filter Plants in Andrah Pradesh*, 1993
- [6] Lloyd B., Helmer, R., *Surveillance of Drinking Water Quality in Rural Areas*, WHO and UNEP, John Wiley & Sons, 1991
- [7] Oxfam/DelAgua Water Testing Kit, OXFAM, Oxford, UK, August 1988
- [8] Hutton, L.G., *Field Testing of Water in Developing Countries*, WRC, Water Research Centre, Loughborough UK, 1983
- [9] De Lange, E., *Manual for Simple Water Quality Analysis*, IWT Foundation, Amsterdam, NL, 1994
- [10] Wegelin, M., Boller, M., Schertenleib, R., *Particle Removal by Horizontal-flow Roughing Filtration*, *Journal of Water Supply Research and Technology - Aqua* Vol. 36, pp. 80-90, 1987
- [11] Collins, M.R., Westersund, C.M., Cole, J.O., Roccaro, J.V., *Evaluation of Roughing Filtration Design Variables*, AWWA Research Foundation and American Water Works Association, 1994
- [12] Pardón, M.O., *Treatment of Turbid Surface Water for Small Community Supplies*, Ph.D. Dissertation. Robens Institute, University of Surrey, Surrey, England, 1989
- [13] Del Mundo Jusi, O., *Pretreatment Applications of Horizontal-flow Coarse Media Pre-Filtration*, Thesis, AIT, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand, April 1987
- [14] Boller, M., *Filtermechanisms in Roughing Filters*, *Journal of Water Supply Research and Technology - Aqua* Vol. 42, pp. 174-185, 1993
- [15] Visscher J.T., Paramasivam R., Raman A., Heijnen H.A. *Slow Sand Filtration for Community Water Supply*, IRC, Technical Paper No. 24, June 1987
- [16] Hendricks D. (editor) *Manual of Design for Slow Sand Filtration*, AWWA Research Foundation, 1991
- [17] Logsdon G. S. (editor), *Slow Sand Filtration*, ASCE Report, 1991
- [18] Lambert, S.D., Graham, N.J.D., *A Comparative Evaluation of the Effectiveness of Potable Water Filtration Processes*, *Journal of Water Supply Research and Technology - Aqua* Vol. 44, pp. 38-51, 1995
- [19] Graham, N., Hartung, H., *Performance of Slow Sand Filters in Refugee Water Supplies in Somalia*, *Waterlines*, 6, 3, p. 19, 1988
- [20] Mbwette, T.S.A., Graham, N.J.D., *Pilot Plant Evaluation of Fabric-Protected Slow Sand Filters*. In [28]
- [21] Schalekamp, M. , *Slow Sand Filter for Ground-Water Recharge. Ten Times longer Filter Run Than was Usual up to Now*. *Indian Water Works Association Journal*, 1992
- [22] Barrot L.P., Lloyed B.J., Graham N.J.D. *Comperative evaluation of two novel disinfection methods for small-community water treatment in developing countries*, *Journal of Water Supply Research and Technology - Aqua* Vol. 39, pp. 396-404, 1990
- [23] WHO, *Disinfection of Rural and Small-Community Water Supplies*, Water Research Centre, Medmenham, UK, 1989
- [24] Solsona, F., *Disinfection for Small Water Supplies*, Water Technology, CSIR, Pretoria, South Africa, 1990
- [25] Grondin, P.M., *Chloration en milieu rural dans les pays en voie de développement*, Programme Solidarité Eau, Paris, France, 1996
- [26] Jeffery, T.D. et al., *Hydraulic Ram Pump: A guide to ram pump water supply systems*, IT Publication, 1992
- [27] van Loodsrecht, C.M.C., Lyklema, J., Norde, W. and Zehnder, A.J.B., *Hydrophobic and electrostatic parameters in bacterial adhesion*, *Aquatic Science* 52, pp. 103-114, 1990
- [28] Graham, N.J.D. (Ed.) *Slow Sand Filtration, Recent Developments in Water Treatment Technology*, Ellis Horwood Limited, Chichester, UK, 1988
- [29] Collins, M.R., Graham, N.J.D., (Eds.), *Slow Sand Filtration, An International Compilation of Recent Scientific and Operational Developments*, AWWA, American Water Works Association, Denver, CO 80235, USA, 1994
- [30] Graham, N.J.D. , Collins, M.R. (Eds.), *Advances in Slow Sand and Alternative Biological Filtration*, John Wiley & Sons, 1996

- [31] Probst, E., Von Besonderheiten in der Wasserversorgung auf Burgen, Nachrichten Burgenverein 6/1937
- [32] Kuntschik, O., Optimization of Surface Water Treatment by a Special Filtration Technique, Journal of the American Water Works Association, October 1976
- [33] Thanh, N.C., Horizontal-flow Coarse-Material Prefiltration, Research Report No. 70, AIT, 1977
- [34] Monitoring and Evaluation of Village Demonstration Plants, Technical Report, Project Managing Committee and AIT, October 1981
- [35] Perez, J., Modular Plants for Water Treatment, Volumes 1 and 2, CEPIS Technical Documents Series 8, 1982
- [36] Wegelin, M. and Mbwette, T.S.A., SSF Research Report No. 2, University of Dar es Salaam, 1980
- [37] Wegelin, M. and Mbwette, T.S.A., SSF Research Report No. 3, University of Dar es Salaam, 1980
- [38] Wegelin, M., Horizontal-flow Roughing Filtration: A Design, Construction and Operation Manual, IRCWD Report No. 6/1986
- [39] Wegelin M., Schertenleib R., Boller M. The decade of roughing filters - Development of a Rural Water Treatment Process for Developing Countries, Journal of Water Supply Research and Technology - Aqua Vol. 40, pp 304-316, 1991
- [40] Riti M.M., Horizontal Roughing Filter in Pretreatment of Slow Sand Filters, Thesis, Tampere University of Technology, 1981
- [41] Tilahun G.T., Direct Filtration with Horizontal Roughing Filter as Pretreatment, Thesis, Tampere University of Technology, 1984
- [42] Symonds Ch.N. Aspects of prefiltration concerned with the application of small scale slow sand filtration in rural communities, University of Surrey, 1985
- [43] Siripatrachai T., Physical and mathematical analysis of the performance of horizontal roughing filtration, International Institute for Hydraulic and Environmental Engineering, Delft, 1987
- [44] Brown D., Horizontal-flow roughing filtration as an appropriate pretreatment before slow sand filtration in developing countries, Thesis, University of Newcastle, 1988
- [45] Ives, K.J., Rajapakse, J.P., Pretreatment with Pebble Matrix Filtration, Proceedings 1st International Seminar on Advances in Slow Sand Filtration, John Wiley & Sons, 1988
- [46] Proyecto integrado de investigación y demostración de metodos de pretratamiento para sistemas de abastecimiento de agua, Informe Resumen, CINARA, Diciembre 1991
- [47] Maiga, A.H. and Sama, M.B., Filtration lente sur sable: épuration physico-chimique et décontamination bactériologique, Bulletin de Liaison du CIEH No. 88, Ouagadougou, Avril 1992.
- [48] Galvis, G., Visscher, J.T., Fernández, J., Berón, F., Pre-Treatment Alternatives for Drinking Water Supply Systems; Selection, Design, Operation and Maintenance, IRC, the Hague, NL, Dec. 1993
- [49] Trüeb, E., Horizontal durchflossene Kiesvorfilter zur Vorreinigung von Oberflächenwasser, besonder in Entwicklungsländern, 3R International, I/2 1982
- [50] Peres Farras L., Filtros Dinamicos, Plan Nacional de Agua Potable Rural, Buenos Aires, Argentina, 1972
- [51] Solsona, F., Dynamic Filtration, CSIR / WRC, Pretoria, South Africa, 1993
- [52] CINARA, Proyecto Filtración Gruesa Horizontal, Informe Final, 1990
- [53] Pardón, M., Consideraciones, Desarrollo y Evaluación de un Sistema de Tratamiento que implementa la Filtración Gruesa de Flujo Vertical en Grava, CEPIS, Aug. 1987
- [54] Galvis, G., Visscher, J.T., Filtración Lenta en Arena y Pretratamiento, Proceedings of an International Seminar on Simple Water Treatment Technology, organized by ACODAL in Cali/Colombia, Aug. 1987
- [55] Basit, S.E., Brown, D., Slow Sand Filter for the Blue Nile Health Project, Waterlines, Vol. 5, No.1/1986
- [56] Ingallinella, A.M., Stecca, L.M., Propuesta para la rehabilitación de la Planta potabilizadora de agua de Tarata, Informe Final Fase 2, Rosario, Febrero de 1995
- [57] Fellinging, W.J., Pilot Tests on a HRF, Diploma Report, Delft University of Technology, Oct. 1988
- [58] Thanh, N.C., Hettiaratchi, J.P.A., Surface Water Filtration for Rural Areas - Guidelines for Design, Construction, and Maintenance, AIT, Bangkok, Thailand 1982
- [59] Paramasivan, R., Mhaisalkar, V., Berthouex, P., Slow Sand Filter Design and Construction in Developing Countries, JWVA, 4/1981
- [60] Slow Sand Filtration for Community Water Supply in Developing Countries, A Design and Construction Manual, Technical Paper 11, IRC, Dec. 1978
- [61] UNDP, The New Delhi Statement. Global Consultation on Safe Water and Sanitation for the 1990s. September 1990. New Delhi, India. United Nations Development Programme. New York 1990
- [62] Kobler, D., Wegelin, M., Boller, M., Ingallinella, A., Sequential Filtration Tests for Particle Size Analysis, EAWAG/SANDEC, 1996
- [63] Visscher, J.T., Veenstra, S., Slow Sand Filtration, Manual for Caretakers, Training Series No. 1, IRC, Nov. 1985

# Abréviations

CFU	Colony Forming Unit
NTU	Nephelometric Turbidity Unit
$v_F$	filtration rate, filter velocity
Q	flow rate, design capacity
RF	Roughing Filter, Roughing Filtration
DF	Dynamic Filter
IF	Intake Filter
DRFS	Downflow Roughing Filter in Series
HRF	Horizontal-flow Roughing Filter
MHRF	Modified Horizontal-flow Roughing Filter
URFL	Upflow Roughing Filter in Layers
URFS	Upflow Roughing Filter in Series
SSF	Slow Sand Filter, Slow Sand Filtration
ESA	External Support Agency
NGO	Non-Governmental Organisation
AIT	Asian Institute of Technology
BNHP	Blue Nile Health Project
CAPM	Chinese Academy of Preventive Medicine
CDC	Centre for Developing Countires
CEPIS	Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente
CINARA	Instituto de Investigación y Desarrollo en Agua Potable, Saneamiento Básico y Conservación del Recurso Hídrico
EAWAG	Swiss Federal Institute for Environmental Science and Technology
EIER	Ecole Inter Etats d'Ingénieurs de l'Equipement Rural
ETH	Swiss Federal Institute of Technology
EWV	Ethiopian Water Works
Helvetas	Swiss Association for Development and Cooperation
IRC	International Water and Sanitation Centre
IWSA	International Water Supply Association
NEERI	National Environmental Engineering Research Institute
NWDB	National Water Supply & Drainage Board
PAHO	Pan American Health Organisation
SANDEC	Water & Sanitation in Developing Countries
DDC	Direction du Développement et de la Coopération Suisse
SDR	Swiss Disaster Relief Unit
SKAT	Swiss Centre for Development Cooperation in Technology and Management
SVGW	Swiss Gas and Water Industry Association
UDSM	University of Dar es Salaam
UNDP	United Nations Development Programme
UNR	Universidad Nacional de Rosario
UoZ	University of Zimbabwe
USP	Universidade de São Paulo
WB	World Bank
WHO	World Health Organisation
WRC	Water Research Commission
ZHAS	Zhejiang Health and Anti-Epidemic Station



# Annexes

- Annexe 1**    **Méthodes simples d'analyse de la qualité des eaux**
- Annexe 2**    **Méthodes simples de mesure du débit**
- Annexe 3**    **Principales données et caractéristiques des filtres lents à sable**
- Annexe 4**    **Théorie de la préfiltration sur gravier**
- Annexe 5**    **Exemples de dimensionnement des stations pilotes**
- Annexe 6**    **Exemples de dimensionnement des préfiltres à gravier**
- Annexe 7**    **Programme de formation des exploitants**
- Annexe 8**    **Surveillance de l'exploitation du filtre**
- Annexe 9**    **Table de conversion**
- Annexe 10**   **Remerciements**

Nota: Sauf notification contraire, l'unité de mesure utilisée dans les schémas est le centimètre [cm]



# Méthodes simples d'analyse de la qualité des eaux

## 1. Introduction

Les difficultés suivantes s'opposent souvent à la réalisation d'un programme de contrôle de la qualité de l'eau:

- insuffisance des **laboratoires de contrôle de la qualité de l'eau** dans le pays et difficultés de transport et de communication entre le laboratoire et le terrain.
- analyses d'échantillons d'eau possibles seulement au laboratoire **par manque d'équipements de contrôle de terrain appropriés**. Délais non respectés et manipulation sans précaution des échantillons pouvant conduire à des erreurs.
- **manque de l'infrastructure de base** (par exemple, l'énergie) **et de personnels qualifiés** sur l'installation de traitement.

En conséquence, **le contrôle régulier de la qualité de l'eau est souvent négligé**. Les processus de traitement de l'eau doivent néanmoins être contrôlés, car la négligence du contrôle de la qualité de l'eau traduit souvent un désintéressement de l'ensemble du traitement de l'eau.

Dans le but de surmonter ces difficultés, **quelques méthodes de contrôle de terrain simples et robustes ont été développées pour surveiller l'efficacité des filtres en matière de réduction des matières solides**: la turbidité et la concentration en matières solides en suspension sont les principaux paramètres pour déterminer les performances d'un filtre. En outre, il pourrait se révéler intéressant de connaître le volume de matières décantables, s'il n'y a pas de système de prétraitement (par ex. un bassin de décantation, ou un réservoir d'eau brute) avant les filtres. Enfin, la stabilité de la suspension a une influence sur les performances de décantation des matières en suspension.

Des méthodes simples et du matériel robuste sont maintenant disponibles pour la détermination des différents paramètres. **SANDEC a développé un équipement de contrôle de terrain**, présenté sur la photo 1/1 et contenant tout le matériel nécessaire pour mesurer la turbidité, la filtrabilité, les matières solides décantables et la stabilité de la suspension. Ni produit chimique, ni source d'énergie, ne sont nécessaires pour effectuer ces mesures. Seul le papier-filtre nécessaire pour la mesure de la filtrabilité devra être fourni de l'extérieur. **L'équipement de contrôle de terrain décrit ci-après peut être facilement fabriqué dans des ateliers locaux expérimentés dans la transformation des matières plastiques.**

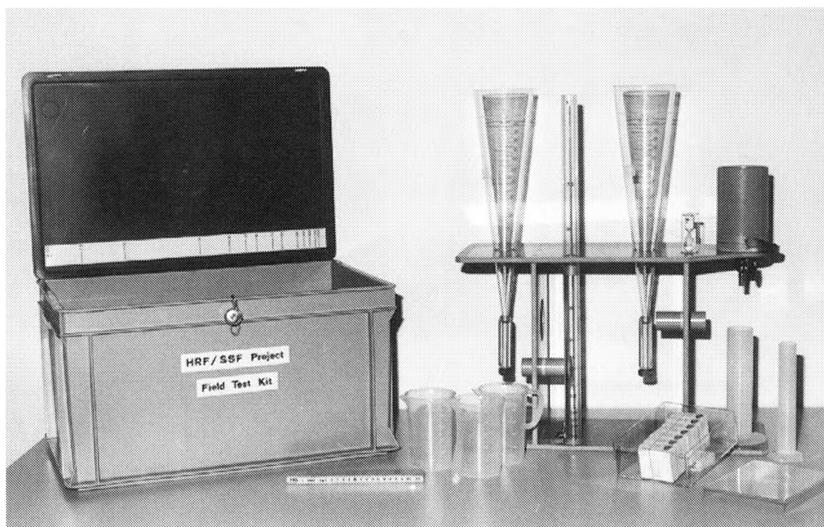


Photo 1/1

*Équipement de contrôle de terrain (développé et assemblé par SANDEC)*

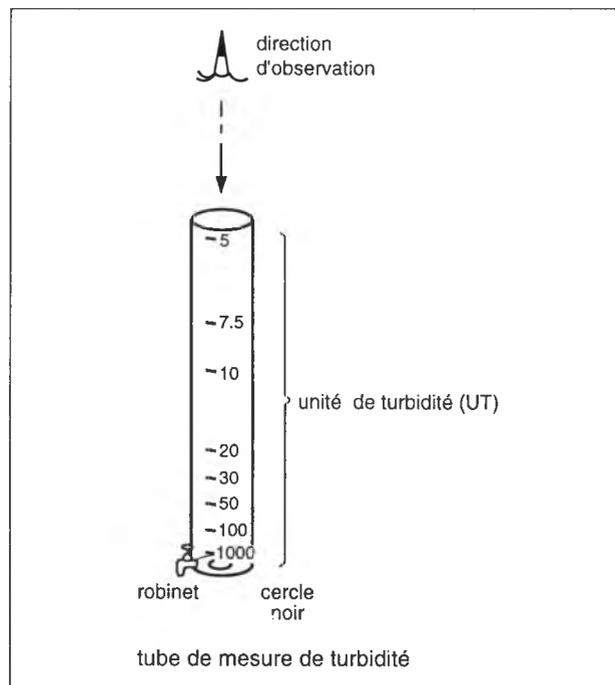
## 2. Equipement et procédures

### 2.1 La turbidité

La turbidité est déterminée à l'aide d'un tube de mesure développé par DelAgua et inclus dans un équipement de contrôle de terrain permettant d'effectuer des mesures bactériologiques (coliformes fécaux) et physico-chimiques (pH, conductivité, chlore). De plus amples informations sur cet équipement de terrain peuvent être obtenues auprès de DelAgua, P.O. Box 92, Guildford GU2 5TQ, Angleterre [7]. SANDEC a adapté le tube de mesure de turbidité en ajoutant un petit robinet qui rend la lecture de la turbidité plus simple (évacuation du tube de mesure rempli à ras bord, jusqu'à ce que le cercle noir apparaisse au lieu d'un remplissage graduel jusqu'à ce que le cercle noir disparaisse).

#### Procédure à suivre pour la mesure de la turbidité:

- assemblez les deux tubes de mesure de la turbidité en plaçant le tube inférieur dans le support et en insérant par le trou du support le tube supérieur dans le tube inférieur
- vérifiez que le robinet est fermé
- versez lentement l'eau à analyser dans le tube de mesure incliné en évitant les éclaboussures et la formation de bulles d'air. Remplissez le tube jusqu'à la marque 5
- assurez-vous qu'aucune matière solide grossière n'est déversée dans le tube de mesure pour éviter que ces matières cachent le cercle noir
- Placez le tube de mesure sur du papier blanc et évitez d'exposer l'équipement à la lumière directe du soleil
- Placez-vous au-dessus du tube et regardez à l'intérieur en ouvrant le robinet
- fermez le robinet dès que le cercle noir est visible au fond du tube de mesure
- enregistrez le niveau de l'eau, convertissez-le en unités de turbidité et portez le résultat sur le formulaire
- videz complètement le tube de toute l'eau y restant et lavez-le.

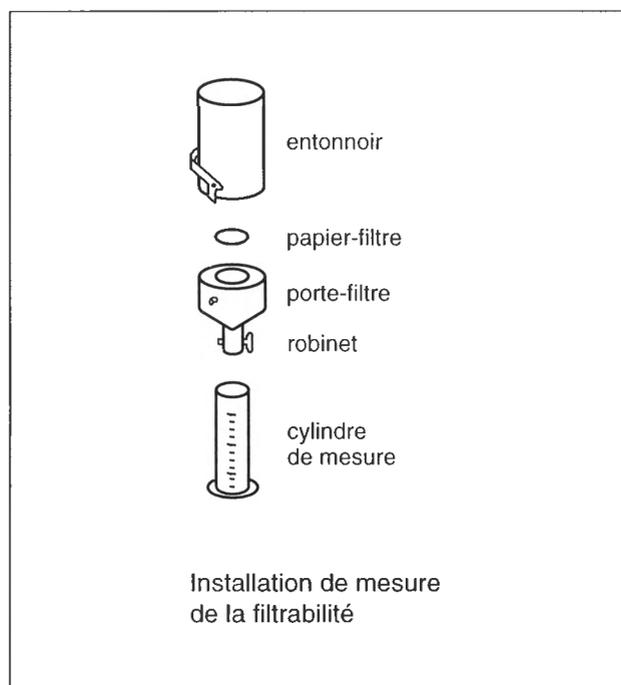


### 2.2 La filtrabilité

La mesure de la concentration en matières solides en suspension, qui nécessite du matériel très précis, est remplacée par celle de la filtrabilité. Cette mesure fournira des valeurs relatives suffisantes pour contrôler l'efficacité des préfiltres et des préfiltres à gravier dans l'élimination des matières solides.

#### Procédure à suivre pour la mesure de la filtrabilité:

- retirez l'entonnoir du porte-filtre en soulevant la pince puis séparez le disque poreux du filtre du porte-filtre
- placez le porte-filtre sur le support
- fermez le robinet (position horizontale)
- remplissez le porte-filtre avec de l'eau
- remplacez le disque poreux du filtre dans le porte-filtre puis assurez-vous que le disque est entièrement imbibé d'eau.
- placez un papier-filtre N° 595 (Schleicher et Schüll) ou tout autre papier-filtre à filtrabilité moyenne sur le porte-filtre et pressez-le légèrement contre le disque poreux pour éviter la formation de poches d'air sous le papier-filtre



- mettez l'entonnoir sur le porte-filtre et fixez-le avec la pince
- placez un cylindre de mesure sous l'équipement de mesure de la filtrabilité
- versez dans l'entonnoir 500 ml d'eau à analyser

- ouvrez le robinet (position verticale), renversez le sablier et enregistrez le volume en ml d'eau filtrée après 3 min. (après 1, 2 et 3 min si vous avez une montre)
- enlevez le papier-filtre et le disque poreux, remplissez le porte-filtre de nouveau avec de l'eau, remplacez encore le disque poreux et remettez-en un nouveau papier selon la procédure décrite.
- analysez un second échantillon d'eau de la même manière
- portez les résultats sur le formulaire s'ils sont du même ordre de grandeur (déviation + ou - 20%), sinon répétez la mesure une troisième fois
- videz complètement l'équipement de mesure de la filtrabilité de toute l'eau y restant et lavez-le
- présentez les résultats du test de filtrabilité des différents échantillons d'eau, graphiquement sur papier millimétré en fonction du temps (min.), comme indiqué dans la Fig. 1/1, ce qui permet de déterminer l'efficacité d'élimination des matières solides dans les différentes phases de traitement; l'eau à traiter par filtration lente sur sable doit avoir une valeur de filtrabilité d'au moins 200 ml/3 min, et le filtrat une valeur de 300 ml/3 min.

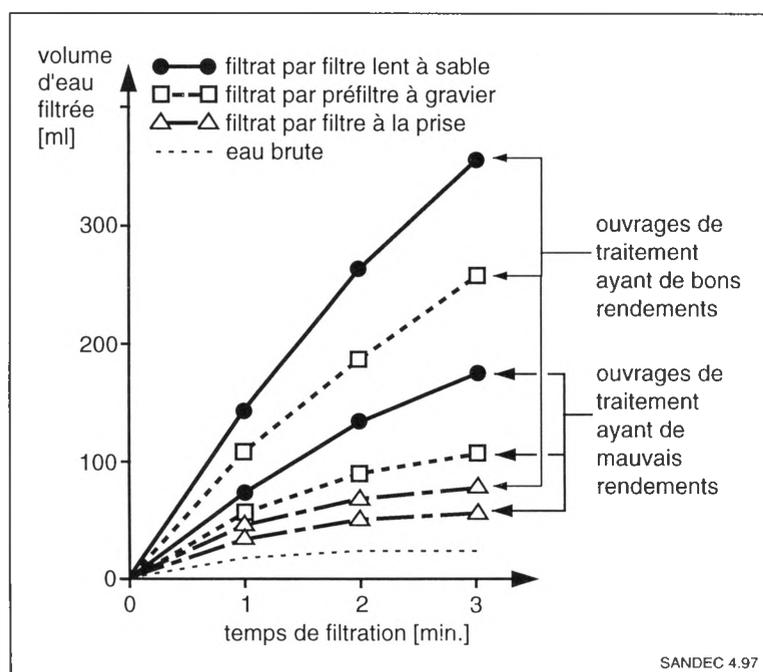
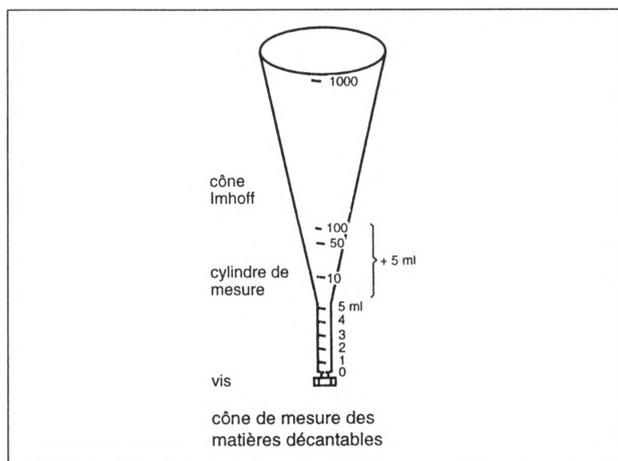


Fig. 1/1

Filtrabilité des différentes eaux brutes et phases de traitement

## 2.3 Matières décantables

Un **cône Imhoff modifié**, généralement utilisé pour l'analyse des eaux usées contenant de grandes quantités de matières décantables, **est utilisé ici pour en mesurer également de petites quantités**. Cette analyse permet de déterminer la quantité de matières solides éliminées par décantation. Cependant, ce contrôle peut servir seulement avec des eaux brutes contenant une concentration élevée de matières décantables. Ce contrôle fournit des informations sur les caractéristiques de décantation et la stabilité de la suspension de matières solides. Par exemple, une eau brute avec une turbidité initiale de 50 à 100 NTU, qui présente un volume de 1 ml/l seulement de matières décantables après une période de 24 h, va très probablement être difficile à traiter, et nécessite alors des analyses dans une station pilote.



### La procédure à suivre pour déterminer les matières décantables:

- commencez votre contrôle de décantation très tôt le matin pour éviter des lectures tardives de nuit
- vérifiez que la vis est bien serrée
- mettez le cône Imhoff sur le support placé sur une table ferme
- versez 1 l d'eau à analyser dans le cône Imhoff
- notez le volume de matière décantée au bout de 15 min, 30 min, 1, 2, 4, 8 et 24 heures et portez les résultats sur le formulaire

- videz le cône Imhoff de l'eau y restant en desserrant la vis puis lavez-le

- remettez la vis pour ne pas la perdre.

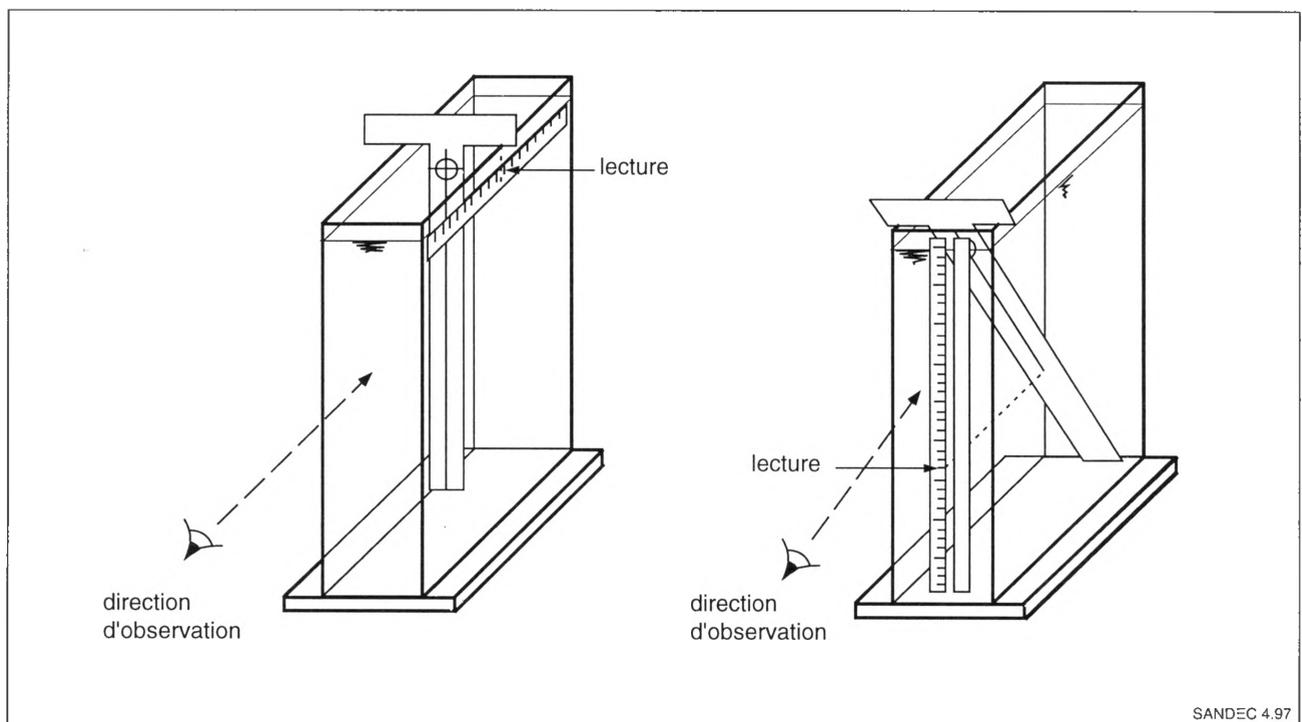
## 2.4 La stabilité de la suspension

**La stabilité d'une suspension** et les propriétés de décantation des matières en suspension **peuvent être déterminées par le test de décantabilité**. L'enregistrement de la baisse de la turbidité en fonction du temps est la procédure de mesure la plus simple pour un tel test. Toutefois, **l'échantillon d'eau ne doit pas être perturbé pendant la durée du test**. Par conséquent, de petits volumes d'eau sont soigneusement prélevés et la turbidité mesurée dans un turbidimètre classique ou par le tube de mesure de turbidité décrit ci-dessus mais qui donne cependant des résultats moins précis.

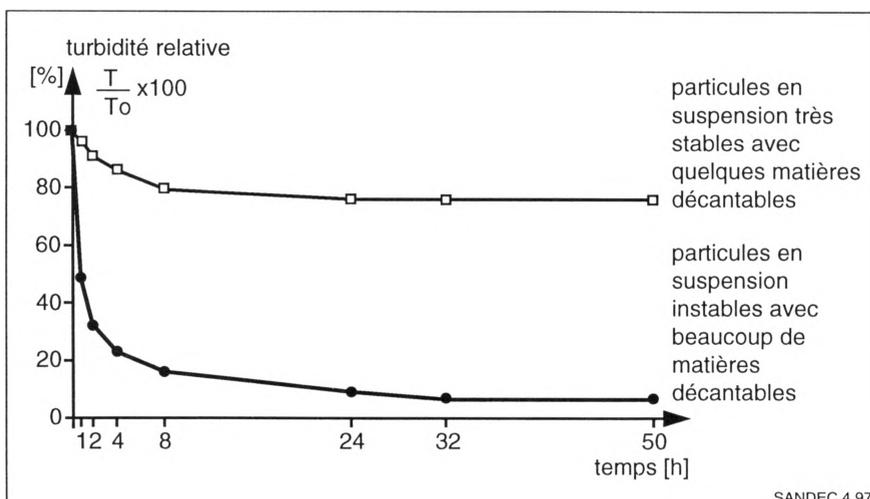
### Procédure à suivre pour la mesure de la stabilité d'une suspension:

- commencez votre mesure de la stabilité des suspensions tôt le matin pour éviter les lectures tard dans la nuit
- posez le récipient de mesure de la stabilité sur une table stable, dans des conditions de lumière uniforme (pas d'exposition au soleil)
- remplissez le récipient d'eau à analyser jusqu'à la marque «0» (volume d'eau requis: environ 2,5 litres)
- placez l'échelle de mesure la plus courte dans le récipient
- observez le récipient à travers la fente verticale située à la petite extrémité du récipient, en déplaçant l'échelle de mesure d'arrière en avant, jusqu'à ce que vous commenciez à reconnaître le trait noir foncé tracé sur l'échelle
- augmentez la sensibilité de la mesure en utilisant le trait fin sur l'échelle de mesure, au cas où le trait foncé ne disparaît pas lorsque l'échelle est placé à l'arrière du récipient
- notez le repère d'échelle utilisé pour la lecture et relevez la position de l'échelle en lisant les graduations horizontales indiquées sur la longueur du récipient; cette mesure en mm est la valeur initiale de la turbidité du test de stabilité de la suspension

- remplacez l'échelle de mesure courte par la longue et placez cette dernière en position oblique avec son extrémité enfoncée tout au fond du récipient
- observez le trait à travers la fente verticale située à la petite extrémité du récipient, enregistrez la position où le trait inclinée du repère disparaît et notez le temps
- ne changez plus la position de l'échelle de mesure et ne secouez plus le récipient pour ne pas perturber le test de stabilité
- répétez votre lecture de la position où le trait inclinée de la mesure disparaît après 15, 30, 60, 120 min et après 4, 8, 24, 32 et 50 heures
- portez les valeurs enregistrées (mm) en fonction du temps (h), sur papier millimétré pour présenter les résultats graphiquement comme dans la Fig. 1/2, puisque cela va aider à mesurer la stabilité de la suspension.



SANDEC 4.97



SANDEC 4.97

Fig. 1/2

Stabilité de la suspension de  
différentes eaux brutes

Un récipient spécial, sans équipement de lecture de turbidité est nécessaire pour la procédure de contrôle décrite. **Un contrôle plus simple avec trois récipients à bec** et quelques tubes plastiques fins peut être réalisé au cas où un turbidimètre classique nécessitant de petits volume d'eau (environ 25 ml) pour les lectures de turbidité est disponible.

#### Procédure à suivre pour une simple analyse de la stabilité des suspensions

- fixez un petit tube plastique à chaque parois des trois récipients à bec de manière à ce qu'une extrémité des tubes atteigne le haut (environ 5 cm en-dessous de la crête du récipient à bec) du récipient, les autres extrémités à environ 20 cm du fond du récipient
- placez les trois récipients à bec sur une table stable, fixez une pince à l'extrémité extérieure des tubes et remplissez les récipients d'eau
- siphonnez soigneusement des échantillons d'eau pour les mesures de turbidité
- notez la turbidité des échantillons d'eau
- enregistrez la turbidité au bout de 0, 15, 20, 60, 90, 120 min et au bout de 4, 8, 24, 30, 50 heures
- tracez un graphique comme indiqué dans la Fig. 1/2 et portez-y la turbidité enregistrée en fonction du temps (h) pour l'analyse de la stabilité de la suspension.

## 2.5 Tests de filtration par séquences

**Les tests de turbidité, de filtrabilité et de stabilité des suspensions peuvent donner seulement des informations qualitatives** sur le volume et les caractéristiques de décantation des matières solides dans les eaux de surface. Cependant, **ces tests ne décrivent pas la taille des particules d'une suspension**, un paramètre important influençant grandement la traitabilité de l'eau et ainsi, l'efficacité du filtre. Des appareils hau-

tement sophistiqués et chers tels que les Coulter Counters et les appareils d'analyse à la lumière diffuse sont disponibles pour mesurer la taille des particules. Etant donné que ces appareils ne sont pas à la portée des laboratoires ordinaires d'analyse de la qualité de l'eau, EAWAG/SANDEC a développé, en collaboration avec des partenaires locaux des pays en développement, **une méthode alternative et simple appelée «Tests de filtration par séquences» [62] qui fournissent des informations raisonnables sur la taille des particules d'une suspension.** L'analyse nécessite seulement du papier-filtre spécial (membranes à pores capillaires en polycarbonate, fabriquées par NUCLEPORE, par exemple), un porte-filtre avec une seringue et un appareil pour mesurer la turbidité.

#### Procédure à suivre pour le test de filtration par séquences

- placez un papier-filtre avec les plus grands pores (par exemple, 14  $\mu\text{m}$ ) dans le porte-filtre
- filtrez un volume spécifique (par exemple, 25 ml) à travers ce papier-filtre
- enregistrez la turbidité de ce premier filtrat
- placez un papier-filtre de taille de pore plus petite (exemple, 10  $\mu\text{m}$ ) dans le porte-filtre
- filtrez encore 25 ml d'eau brute à travers le second papier-filtre
- enregistrez la turbidité du second filtrat
- continuez de la même manière en utilisant en séquence une série de papiers-filtres dont la taille des pores est décroissante (par exemple, 5; 2; 1; 0,4; et 0,1  $\mu\text{m}$ )
- tracez un graphique comme indiqué dans la Fig. 1/3 et portez les valeurs de turbidité en fonction des tailles des pores des filtres. Cela révélera la répartition des tailles des particules de la suspension analysée.

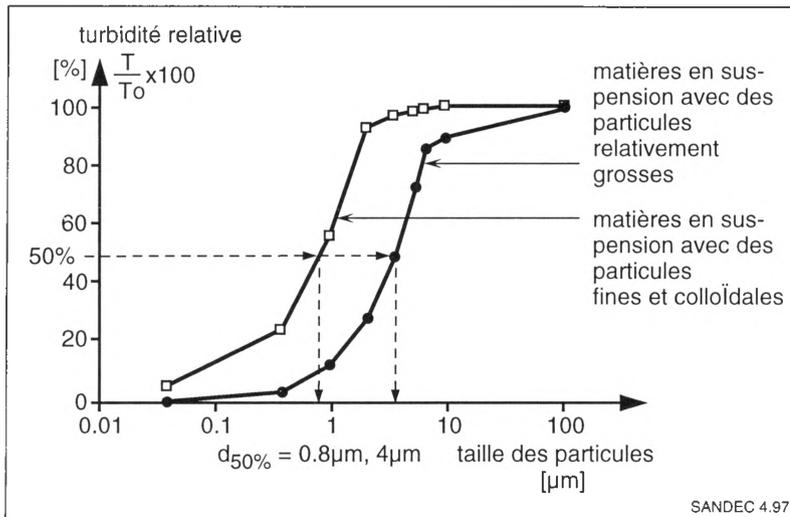


Fig. 1/3

Répartition des tailles des particules de différentes eaux brutes



# Méthodes simples de mesures du débit

## 1. Introduction

**La mesure du débit est nécessaire pour contrôler l'écoulement à travers la station de traitement.** Le débit total doit être également réparti entre les différentes unités de filtre fonctionnant en parallèle. Une répartition inégale du débit réduira généralement le rendement global de l'ensemble des filtres. Une régulation des débits est nécessaire pour faire face aux variations saisonnières et hebdomadaires des besoins en eau. En outre, une régulation des débits est également nécessaire avant et après les travaux de nettoyage et d'entretien.

**La mesure des débits est effectuée par des installations fixes ou des équipements mobiles.** L'utilisation d'installations fixes est recommandée, vu le rôle important que joue la mesure du débit dans le fonctionnement des installations de traitement.

## 2. Installations fixes

**Les débitmètres** sont des appareils relativement sophistiqués et sensibles du point de vue mécanique. Notamment, les matières solides (sable, limon) charriées par l'eau, peuvent facilement les endommager. Il est donc

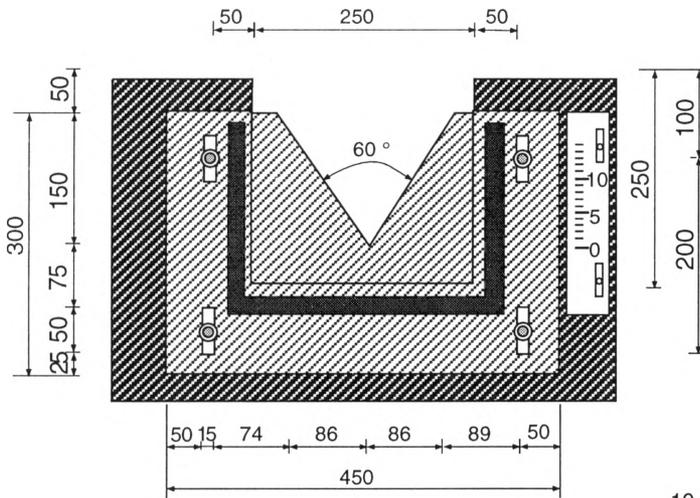
fortement déconseillé d'utiliser de tels appareils dans les stations de traitement de l'eau. La mesure du débit à la sortie d'un réservoir d'eau claire pourrait constituer l'exception.

**Les déversoirs en V** sont des installations simples, solides et bon marché. Ils sont donc plus appropriés pour la mesure des débits dans les stations de traitement de l'eau. Les déversoirs peuvent être construits avec des planches de bois ou, de préférence, des plaques d'acier. Le débit sur le déversoir est mesuré en enregistrant la hauteur d'eau au-dessus du point le plus bas de la crête du déversoir.

**Une échelle de jaugeage**, fixée au moins à 30 cm, à l'amont du déversoir, et peint de couleurs différentes (ex. vert pour la plage couvrant la capacité nominale, rouge pour la plage au dessus et jaune en dessous de la capacité nominale) facilitera les mesures. **La précision des lectures est plus élevée avec un déversoir en V de 60° qu'avec un déversoir en V de 90°.** Des trous allongés dans la plaque du déversoir et dans l'échelle de jaugeage permettent une mise en place horizontale plus facile et plus précise. La Fig. 2/1 donne de plus amples détails sur les dimensions envisageables pour la plaque du déversoir. La relation entre la hauteur d'eau sur le déversoir et le débit est présentée dans le tableau 2/1 et représentée graphiquement sur la Fig. 2/2.

Hauteur d'eau $h_w$ (cm) au-dessus de la crête du déversoir	l/s	débit l/min	$m^3/h$
1	0.01	0.6	0.036
2	0.05	3.0	0.180
3	0.13	7.8	0.470
4	0.27	16	0.970
5	0.46	28	1.7
6	0.73	44	2.6
7	1.08	65	3.9
8	1.50	90	5.4
9	2.02	121	7.3
10	2.63	158	9.5

Tableau 2/1 Débit sur un déversoir en V de 60°



dimensions en mm

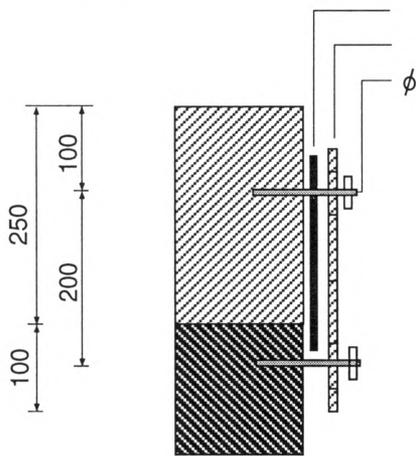


Fig. 2/1 Détails d'un déversoir en V de 60°

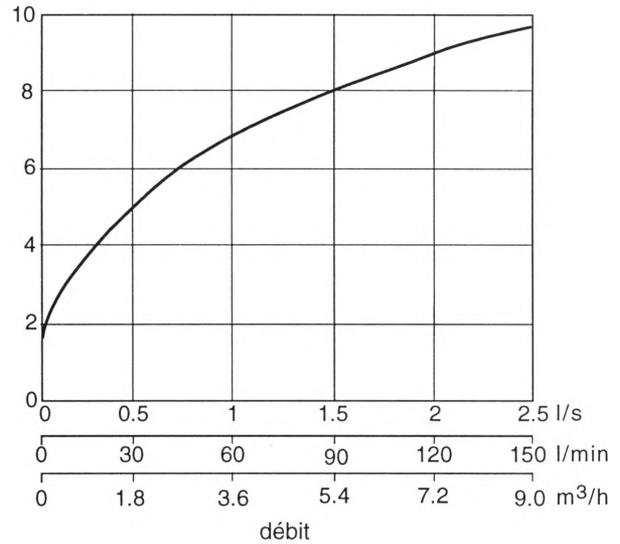


Fig. 2/2 Courbe de jaugeage

### 3. Appareils mobiles

**La méthode de mesure du débit la plus simple consiste à mesurer le temps nécessaire pour remplir un seau de volume déterminé.** Cette procédure est peu appropriée pour les débits importants car le temps de remplissage du seau devient très court et le poids du seau rend difficile toute manipulation.

Par conséquent SANDEC a développé un **appareil de mesure du débit plus approprié qui est présenté sur la Fig. 2/3.** L'eau tombe dans un seau dont le bas est équipé d'un ajutage calibré à travers lequel l'eau s'écoule. Un état d'équilibre entre les débits entrant et sortant s'établit rapidement. La hauteur d'eau mesurée à partir du centre de l'ajutage est relevée et le débit peut être déterminé à l'aide du graphique de la Fig. 2/4. Cette méthode ne nécessite ni de montre ni de matériels particuliers. Un seau tout à fait ordinaire ou un

petit bidon sert de récipient. L'ajutage est constitué d'un bout de tuyau sanitaire ordinaire et ne nécessite pas une grande précision quant à sa longueur comme le montre le graphique. Une paroi de séparation avec une ouverture d'environ 2 cm, au-dessus du fond du récipient permet d'obtenir une surface d'eau sans turbulences dans le compartiment d'évacuation. Enfin, une échelle graduée en demi-centimètres à l'intérieur du seau indique la distance entre le plan d'eau et le centre de l'ajutage. Cet appareil simple, équipé d'un ajutage de 1/2", permet de mesurer précisément des débits compris entre 6 et 30 l/min. Des ajutages de plus grandes dimensions peuvent être utilisés pour mesurer des débits plus importants et pour réduire la hauteur d'eau à mesurer.

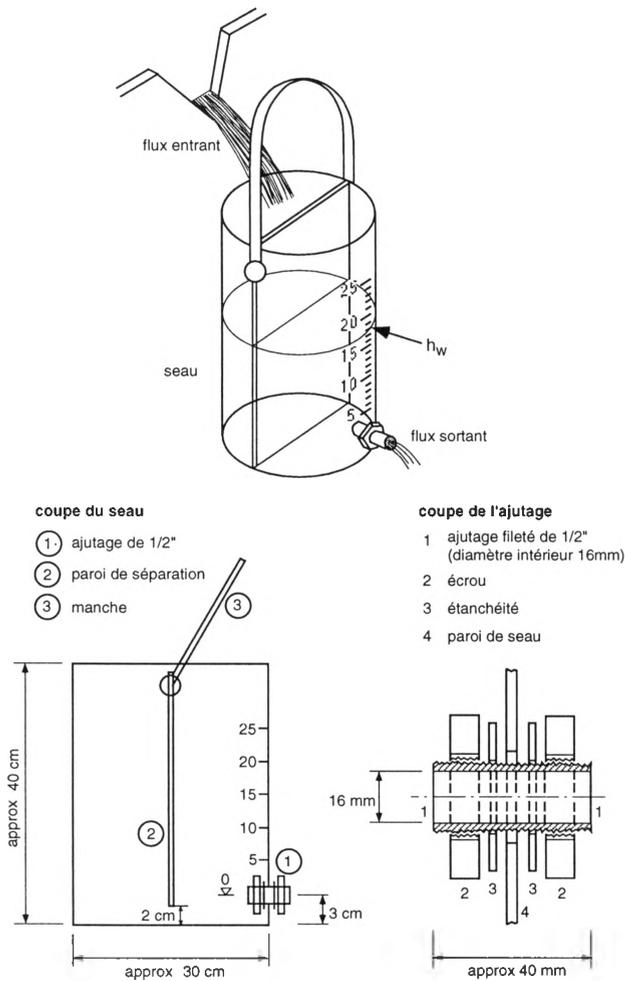


Fig. 2/3 Appareil simple de mesure du débit

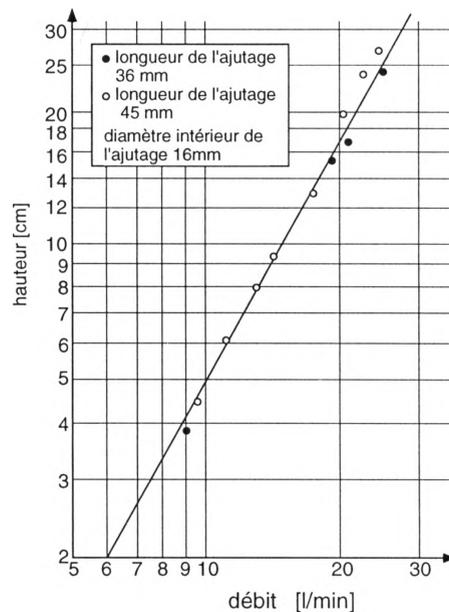


Fig. 2/4 Courbe de calibration d'un ajutage de 1/2"

#### 4. Contrôle du débit et chambre de distribution

Les déversoir en V sont généralement installés dans des structures spéciales utilisées pour la distribution du débit et, éventuellement, aussi pour limiter le débit maximum admis sur la station. Un exemple d'une telle structure est illustré par la Fig. 2/5. Cette illustration montre une chambre de contrôle du débit installée sur un réseau d'alimentation en eau brute et placée en amont de l'installation de traitement. Le débit qui s'écoule vers la station de traitement par le tuyau de sortie est mesuré par un déversoir en V et une échelle de jaugeage. Dans la chambre d'entrée, un trop-plein formé d'un déversoir rectangulaire limite le débit maximum admis sur la station de traitement. Le surplus d'eau est évacué par le tuyau du trop-plein.

Le débit total admis sur la station de traitement doit être uniformément distribué entre les différentes unités de filtres fonctionnant en parallèle. Cette opération est effectuée par une chambre de distribution équipée de plusieurs déversoirs en V. Etant donné qu'une telle chambre concentre le contrôle du débit dans une seule installation, la conception hydraulique de la station de traitement est simplifiée. Avec cette configuration, on peut renoncer aux déversoirs d'entrée des unités de traitement suivantes.

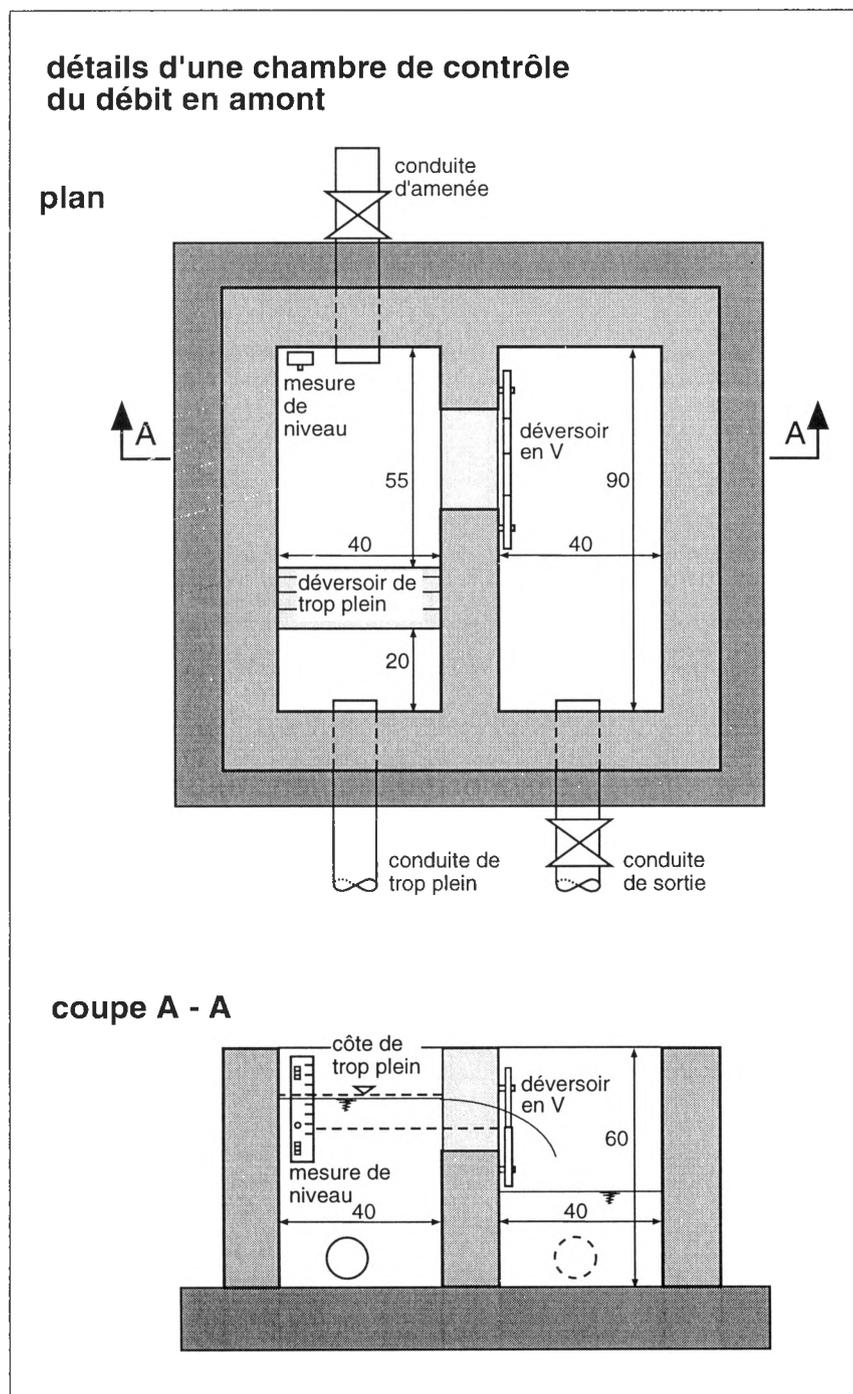


Fig. 2/5

Détails d'une chambre  
de contrôle du débit

## Données principales et caractéristiques d'un filtre lent à sable

(pour des informations supplémentaires; consultez la références [14, 15, 16])

### Critères de dimensionnement

vitesse de filtration	$V_F$ 0,1 - 0,2 - (0,3 - 0,4) m/h
surface par lit filtrant	A 10 - 50 - (100) m <sup>2</sup>
nombre de lits filtrants	2 au minimum
hauteur de l'eau surnageante	$h_w$ 1 - (1,5) m
épaisseur du lit filtrant	$h_f$ (0,6) - 0,8 - 1 m
épaisseur du système de vidange et du support du filtre	$h_s$ (0,2) - 0,3 - 0,5 m
caractéristiques du sable filtrant	
taille effective	$d_{10}$ 0,15 - 0,35 - (0,6) mm
coefficient d'uniformité	UC 2 - 5
caractéristiques du support du filtre	
taille/épaisseur	1 - 1,5 mm / 10 cm
(la taille du matériau du support devrait être à peu près 4 fois la taille du matériel filtrant)	4 - 6 mm / 10 cm
	15 - 15 mm / 15 cm

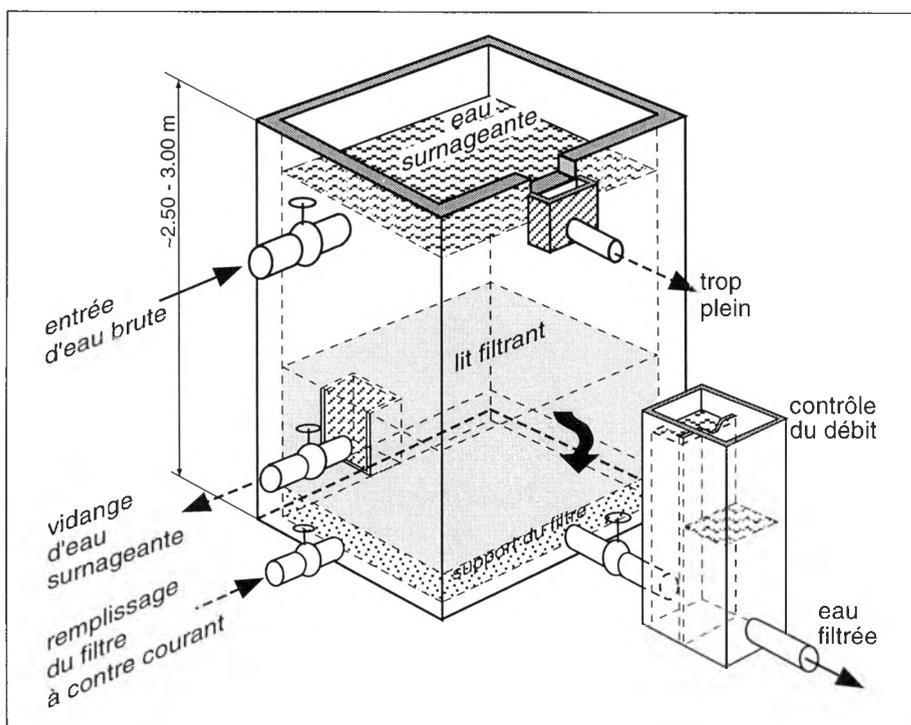


Fig. 3/1

Caractéristiques principales d'un filtre lent à sable

### Erreurs de dimensionnement les plus fréquentes et leurs conséquences

(voir aussi la Fig. 13 )

1. **installations de contrôle du débit peu appropriées ou manquantes:** filtre fréquemment surchargé ou fonctionnant avec de fréquentes variations de débit.
2. **pression de l'eau dans la conduite d'évacuation plus faible qu'au niveau supérieur du lit filtrant de sable:** apparition de pressions négatives (vacuum) dans le lit de sable provoquant un dégagement d'air et une résistance supplémentaire du filtre.
3. **taille des grains de sable et épaisseur du lit filtrant peu appropriés:** mauvaise qualité de l'effluent (sable grossier, faible épaisseur) ou courte période de fonctionnement du filtre nécessitant de fréquents lavages (sable trop fin).
4. **système d'évacuation d'eau surnageante manquante:** les longues durées d'évacuation d'eau dans le matériel filtrant affecteront la biologie dans le lit filtrant.
5. **lits des filtres lents à sable dont la surface est plus grande que 50 m<sup>2</sup>:** les longues périodes de nettoyage réduiront ou neutraliseront l'activité biologique du filtre.
6. **absence d'installations pour remplir avec de l'eau le lit de sable de bas en haut:** la fixation de l'air dans le lit provoquant une importante résistance initiale du filtre.
7. **installations non protégées** de manière adéquate contre des manoeuvres non autorisées.

### Problèmes de fonctionnement les plus fréquents

1. **la turbidité de l'eau brute et sa teneur en matières en suspension sont trop élevées pour un fonctionnement correct du filtre lent à sable.** La turbidité devrait en principe être inférieure à 10 unités de turbidité et la concentration en matières en suspension inférieure à 2 - 5 mg/l pour garantir un fonctionnement acceptable du filtre lent.
2. **Les équipements secondaires tels que les outils et les installations de lavage du sable manquent.** L'absence de lavage et de remplacement du sable conduira à l'épuisement du lit de sable.
3. **Des exploitants non formés,** qui ne comprennent pas le fonctionnement du filtre lent à sable, ne sont généralement pas motivés pour entretenir correctement l'installation de traitement.

## Théorie du Préfiltre à Gravier

**La filtration est plus un art qu'une science.** Ce dicton s'applique également à la pré-filtration sur gravier. De nombreux chercheurs ont essayé de décrire les mécanismes de filtration par des modèles mathématiques appliquant l'approche phénoménologique ou trajectoire. La première approche utilise des variables simples mais importants tels que la vitesse de filtration, la taille du filtre, l'épaisseur et la porosité, pour décrire l'efficacité du filtre. La seconde approche se concentre plus sur les mécanismes de transport de la particule individuelle et son comportement dans le collecteur unique. **Les deux approches seront utilisées dans ce court résumé sur la filtration pour fournir quelques informations théoriques supplémentaires sur les mécanismes de la pré-filtration sur gravier.**

### Mécanismes de transport

**L'approche trajectoire, décrivant le parcours de la particule d'argile à travers le préfiltre à gravier, a été clairement décrite dans le chapitre 9.2.** Des considérations analytiques supplémentaires relatives à ces mécanismes sont données ci-après.

**Le tamisage**, tel que présenté dans la Fig. 4/1, n'est pas appropriée dans les préfiltres à gravier, puisque les tailles des pores sont considérablement plus grandes que les particules rencontrées généralement dans les suspensions. Le rapport entre une particule d'argile de 4  $\mu\text{m}$  de diamètre ( $d_p$ ) et les différentes tailles des pores ( $d_o$ ) est illustré dans le tableau suivant.

taille du gravier	$d_g$	(mm)	16	8	4
taille du pore	$d_o$	(mm)	2,5	1,25	0,63
<b>rapport</b>	<b><math>d_o / d_p</math></b>	<b>(-)</b>	<b>625</b>	<b>313</b>	<b>156</b>

**La sédimentation** est le procédé suivant possible pour l'élimination des matières solides. Dans les conditions décrites dans la Fig. 4/2 et présentées dans le tableau suivant, le rapport entre la distance de décantation  $d_s$  parcourue par la particule d'argile pendant son écoulement à travers le pore et la hauteur totale requise de décantation ( $h_s$ ) est très important.

vitesse de décantation	$V_s$	0,01 mm/s	pour une particule de 4 $\mu\text{m}$
longueur du pore	$l_p$	4 mm	pour un gravier de 16 mm
vitesse de filtration	$V_f$	0,5m/h	
vitesse d'écoulement	$V_{\text{eff}}$	0,4 mm/s	pour une porosité de 35%
temps d'écoulement	$t_f$	10s	$(l_p / V_{\text{eff}})$
hauteur de chute	$d_s$	0,1 mm	$(V_s \times t_f)$
hauteur de décantation	$h_s$	1,25 mm	$(h_s = 0,5 d_o)$
<b>rapport</b>	<b><math>h_s / d_s</math></b>	<b>12,5</b>	

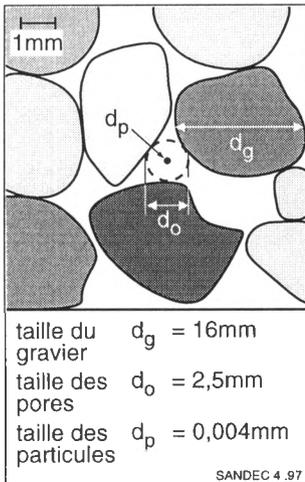


Fig. 4/1

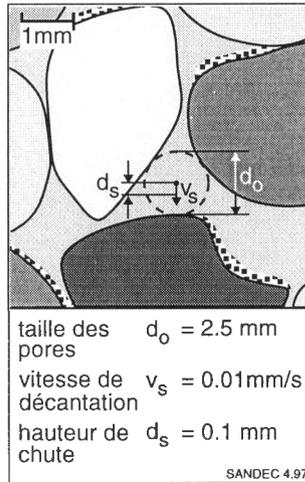


Fig. 4/2

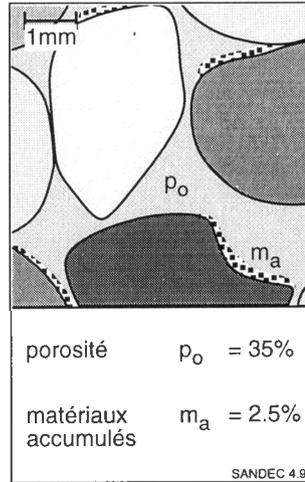


Fig. 4/3

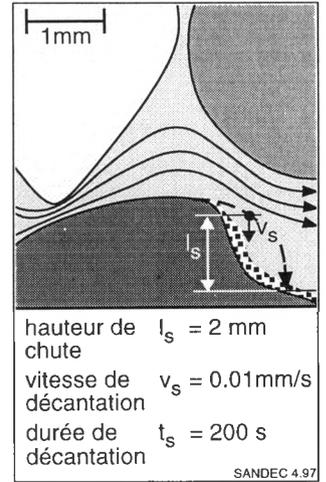


Fig. 4/4

**L'interception** réduit la porosité et la hauteur de décantation  $h_s$  et accroît l'élimination des matières solides par la décantation. Toutefois, comme illustré dans la Fig. 4/3, l'accumulation des matières solides dans les préfiltres à gravier n'améliore pas de façon significative l'élimination des matières solides. Ceci est présenté également dans le tableau suivant.

Porosité initiale	$P_o$	35 %	
charge du filtre	$\sigma$	5 g/l	(matières solides accumulées par volume de filtre)
volume pris	$m_a$	2,5 %	pour une densité de $0,2\text{g/cm}^3$
porosité réelle	$P_a$	32,5 %	$(P_o - m_a)$

Les forces hydrodynamiques peuvent transporter les particules dans les zones d'eau calmes, tel qu'il est illustré dans la Fig. 4/4. Dans de telles conditions, la particule d'argile peut se poser à la surface du gravier comme il est présenté dans le tableau ci-dessous.

vitesse de chute	$v_s$	0.01 mm/s	pour une particule de 4 microns
hauteur de chute	$d_s$	2 mm	
temps de sédimentation	$t_s$	200 s	$(d_s / v_s)$

### La «théorie du filtre 1/3-2/3»

Le modèle suivant, très simplifié, clarifie les forces cinétiques d'élimination dans le filtre et est basé sur les considérations décrites dans le chapitre 9.

couche de gravier	particules retenues	particules restantes	élimination des matières [%] (élimination par couche en %)
	<b>300 mg/l</b>		
	↓		
1	100	200	33
2	67	133	
3	44	89	
4	30	59	
5	20	39	
6	13	26	90 (16.5% / couche)
7	9	17	
8	6	17	
9	4	7	
10	2	5	
11	1.5	3.5	
12	1.2	2.3	99 (1.5% / couche)
	<b>2.3 mg/l</b>		
	↓		

Cet exercice arithmétique simple prouve clairement que **l'élimination des matières solides par la filtration peut être décrite par une équation exponentielle** comme dans l'exemple d'équation suivante (1). Toutefois, l'efficacité du filtre ne dépend pas seulement de la concentration des particules mais de la taille et de la décantabilité. En outre, les variables du filtre tels que la vitesse de filtration et la taille du matériel filtrant influencent fortement la performance du filtre. Enfin, le volume accumulé des matières solides par unité de volume du lit filtrant, autrement dit la charge du filtre, détermine aussi l'efficacité réelle du filtre.

**Les contrôles des paramètres importants ont** été conduits pour déterminer l'influence des différents paramè-

tres de conception sur la performance des préfiltres à gravier à flux horizontal. Les tests ont été conduits en laboratoire avec des cellules de filtre de 10 à 30 cm de diamètre et de 20 à 40 cm de longueur pour des matériaux filtrants de tailles variés et pour différentes vitesses de filtration variant entre 0,5 et 2m/h. Une suspension stock de kaolin avait été utilisée pour simuler une concentration de matières en suspension d'environ 200 mg/l. Des mesures des tailles des particules ont été faites avec un Coulter Counter TA II. **Les contrôles de laboratoire sont décrits dans [10] et les données obtenues ont été évaluées par une régression linéaire multiple, pour développer un modèle de filtration pour la pré-filtration sur gravier à flux horizontal. Ce qui suit en est un extrait.**

According to the established filter theory, the filter efficiency can be expressed by the filter coefficient  $\lambda$  [ $\text{cm}^{-1}$ ] (described by Iwasaki's equation) or by some other collector efficiency factors

$$\frac{dc}{dx} = -\lambda \cdot c \quad (1)$$

with  $c$  as solids concentration and  $x$  filter depth. The filter coefficient  $\lambda$  is a function of the interstitial flow pattern (depending on filtration rate and pore size distribution), of the grain surface area (depending on size and shape of the filter medium) and of Stoke's law parameters of the water and the suspended particles (particle size, density). Straining mechanisms are neglected and surface chemical conditions are assumed to be constant. The volume of retained solids increases with progressive filtration time and hence, augments the filter surface area available for deposition but decreases at the same time the filter porosity. The degree of filter clogging can be expressed by the volume filter load  $\sigma_v$  which is the volume of deposited material per unit filter bed volume.  $\sigma_v$  varies with position  $x$  in the filter as well as with filtration time  $t$ .  $\lambda$  is therefore not a first order removal rate constant, but varies with time and position in the filter. A more appropriate model parameter is considered to be the particle specific filter coefficient  $\lambda_i$  which for a short time interval is constant throughout a homogeneous filter layer. The removal of a particle fraction of the size  $d_{pi}$  can thus be formulated by

$$\frac{dc_i}{dx} = \lambda_i \cdot c_i \quad (2)$$

with  $c_i$  as concentration of particles of size  $d_{pi}$ . Assuming the total filter length as a multi-store reactor consisting of a series of small filter cells, the performance of a HRF can be calculated on the base of the filter cell test results. For each of the cell tests  $\lambda_i$  may be approximated by

$$\lambda_i = \frac{1}{\Delta x} \cdot \ln \left( \frac{C_{i.in}}{C_{i.out}} \right) \quad (3)$$

resulting in different relations of  $\lambda_i$  as function of filtration velocity, grain size, particle size and the time dependent filter load  $\sigma$  according to experimental conditions.

Knowing  $\lambda_i$  as function of the different design variables and of the filter load  $\sigma$ , it is possible to calculate at a certain time  $t$  in steps of layer thickness  $\Delta x$  (close to the length of the experimental filter cells) the effluent of each particle fraction by

$$c_{i,out} = c_{i,in} \cdot e^{-\lambda_i \cdot \Delta x} \quad (4)$$

and the total suspended solids concentration after an element  $\Delta x$

$$c_{out} = \sum_{i=1}^n c_{i,out} = \sum_{i=1}^n c_{i,in} \cdot e^{-\lambda_i \cdot \Delta x} \quad (5)$$

The volume filter load  $\sigma_v$  may be calculated in short time intervals  $\Delta t$  from the particle volume balance equation for a small filter element  $\Delta x$

$$\sigma_v = \frac{v_F}{\Delta x} \cdot \sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^n \Delta V_{i,k} \cdot \Delta t_k \quad (6)$$

with  $v_F$  as filter velocity,  $\Delta V_i$  as removed particle volume of size  $d_{pi}$  and  $\Delta t_k$  as  $k^{th}$ , time interval from the beginning.

All the dependencies of  $\lambda_i$  from the various filtration variables could be derived from the small filter cell parameter tests by empirical analysis of the test data.

The influence of the particle capture volume  $\sigma_v$  on the filter coefficient was formulated according to Ives<sup>5</sup> and transformed to the particle specific filter coefficient  $\lambda_i$ . Starting with an initial filter coefficient  $\lambda_{i,0}$ , the filter coefficient  $\lambda_i$  becomes

$$\lambda_i = \lambda_{i,0} + k \cdot \sigma_v - \frac{\phi_i \sigma_v^2}{f_0 - \sigma_v} \quad (7)$$

where  $k \cdot \sigma_v$  considers the increased surface area available for deposition ( $k = \text{constant}$ ) and the third term accounts for the porosity decrease and the resulting increase of the interstitial velocity.  $f_0$  is the initial porosity and  $\phi_i$  is a constant describing the influence of the gradually constricting pores. Exhaustion of the filter is attained when the suspended particles of a certain size are no longer retained ( $\lambda_i = 0$ ) and the quantity of deposits in the pores attains its ultimate value  $\sigma_{v,u,t}$ . It can be noticed that  $\sigma_{v,u,t}$  is the volume deposit of all particles together, but  $\sigma_{v,u,t}$  varies with particle size  $d_{pi}$ .

From the experimental results in Fig. 4/5, it may be concluded that  $\lambda_i$  does not substantially increase with progressive filter load  $\sigma_v$ . Apparently, the effect of surface area increase for additional deposition plays a minor role in HRF and straining effects may be completely neglected. A conservative assumption is made by setting

$$k = 0 \quad (8)$$

Thus, equation (7) is simplified considerably. At  $\lambda_i = 0$ ,  $\phi_i$  may be expressed as function of  $\lambda_{i,0}$  and  $\sigma_{v,u,t}$  to

$$\phi_i = \lambda_{i,0} \cdot \frac{f_0 - \sigma_{v,u,t}}{\sigma_{v,u,t}^2} \quad (9)$$

The resulting equation for  $\lambda_i$  therefore becomes

$$\lambda_i = \lambda_{i,0} \cdot \left[ 1 - \left( \frac{\sigma_v}{\sigma_{v,u,i}} \right)^2 \cdot \left( \frac{f_0 - \sigma_{v,u,i}}{f_0 - \sigma_v} \right) \right] \quad (10)$$

The initial filter coefficient  $\lambda_{i,0}$  and the ultimate filter load  $\sigma_{v,u,i}$  are determined on the basis of the parameter test results summarised in Fig. 4/5. The general considerations of Boller<sup>4</sup> for the determination of the filter constants were adapted and applied accordingly.

The value of the initial filter coefficient  $\lambda_{i,0}$  depends on the process variables  $v_F$  (filtration rate),  $d_g$  (filter grain size) and varies with particle size  $d_{pi}$ . A matrix comprising the measured initial filter coefficients for different values of the process variables and sizes of suspended solids was transformed by a multiple linear regression analysis to the following general equation

$$\lambda_{i,0} = \alpha_0 \cdot v_F^{\alpha_1} \cdot d_g^{\alpha_2} \cdot d_{pi}^{\alpha_3} \quad (11)$$

The values for

$$\begin{aligned} \alpha_0 &= 0.02 \text{ [cm-1]} \\ \alpha_1 &= -0.88 \\ \alpha_2 &= -0.85 \\ \alpha_3 &= 1.0 \end{aligned}$$

were determined from 36 data points with a correlation coefficient of 0.96.

The ultimate filter load  $\sigma_{v,u,i}$  is similar to the initial filter coefficient a function of the different process variables. The volumetric filter load  $\sigma_v$  [ml/l] was determined by the calculated and measured mass filter load  $\sigma$  [g/l] applying a specific wet sludge density of 1.15 g/ml. The transformation of a similar matrix by multiple linear regression analysis resulted in the equation

$$\sigma_{v,u,i} = b_0 \cdot v_F^{\beta_1} \cdot d_g^{\beta_2} \cdot d_{pi}^{\beta_3} \quad (12)$$

with the following values

$$\begin{aligned} b_0 &= 10 \text{ [ml/l]} \\ \beta_1 &= -0.80 \\ \beta_2 &= -0.18 \\ \beta_3 &= 0.35 \end{aligned}$$

The 20 data points used showed a correlation coefficient of 0.97.

With the established equations for  $\lambda_i$  and  $\sigma_{v,u,i}$ , it is possible to calculate in time steps  $\Delta t$  and filter layer elements  $\Delta x$  the resulting particle size distribution in function of time and space. Changes in grain size, filter velocity and particle size distribution may be adjusted by adapting  $\lambda_i$ . Hence, the filter performance of a full scale HRF can be simulated by the arrangement of a number of short filter layer elements each specified with its own  $\lambda_i$ . The increment of filter load within each element is calculated over a time step  $\Delta t$  and its influence on  $\lambda_i$  is considered in the next time interval.

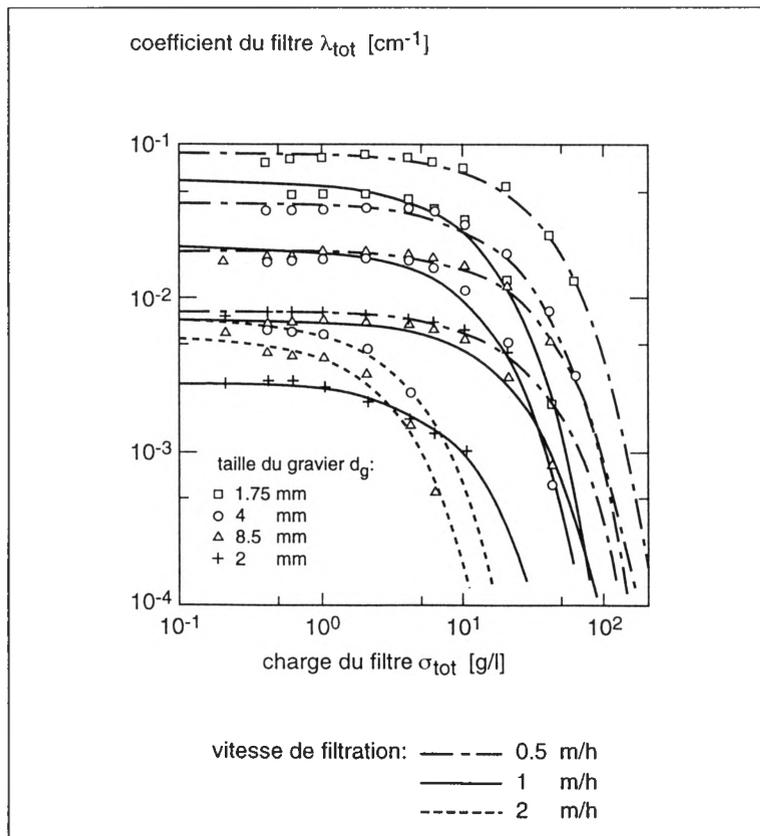


Fig. 4/5

Coefficient du filtre par rapport à la vitesse de filtration, à la taille du gravier et à la charge du filtre

Les études précédentes se sont seulement centrées sur les mécanismes d'élimination. **Les préfiltres à gravier peuvent toutefois présenter une activité biologique qui augmente l'élimination des particules.** De telles recherches ont été menées avec des suspensions contenant de l'argile (kaolin), des algues (*Scenedesmus*)

ou une combinaison comme décrite en [11]. Les contrôles de laboratoire ont été également évalués par des modèles de régression multilinéaire. **Les équations suivantes ont été développées pour des conditions de régime permanent.**

**pour le kaolin**

$$C_e / C_o = 0.188 + 0.0231 \text{ milieu} + 0.136 \text{ vitesse} - 0.101 \text{ profondeur}$$

**pour l'algue *Scenedesmus***

$$C_e / C_o = -0.170 + 0.142 \text{ milieu} + 0.253 \text{ vitesse} - 0.021 \text{ profondeur} - 0.0128 \text{ milieu}^2$$

**pour le kaolin + algue**

$$C_e / C_o = 0.0280 + 0.0181 \text{ milieu} + 0.0902 \text{ vitesse} - 0.0558 \text{ profondeur}$$

- où
- $C_e$  est la charge à la sortie en mg/l
  - $C_o$  est la charge à l'entrée en mg/l
  - «milieu» est la taille de gravier en mm
  - «vitesse» est la vitesse de filtration en m/h
  - «profondeur» est la profondeur du lit filtrant en cm

Cette recherche a aussi révélé que l'efficacité du filtre dépend des variables de conception tels que la vitesse de filtration, la taille du gravier et la longueur du filtre. Toutefois, comme souligné dans d'autres recherches [36, 46], **la direction de l'écoulement est d'une importance mineure pour l'efficacité du filtre.** Ces contrôles de laboratoire ont montré que l'élimination du kaolin est augmentée par l'addition d'algues qui déstabilisent l'argile en agrégats plus facilement éliminés par la pré-filtration. Toutefois, le nettoyage hydraulique du filtre est plus difficile quand l'argile est revêtu de matières organiques. Aussi, **la présence de biomasse dans un préfiltre à gravier augmente probablement l'élimination des matières solides mais peut réduire l'efficacité du nettoyage hydraulique du filtre.**

Les propriétés chimiques de la suspension, notamment la stabilité de la suspension, ne sont toutefois pas prises en considération dans ces modèles de filtre. **Ces modèles de filtre ne sont pas universellement applicables à tout type d'eau brute parce que l'efficacité du filtre est fortement influencée par la qualité de l'eau brute.** De tels modèles semi-empiriques peuvent donc être utilisés pour rechercher l'influence globale des paramètres de conception spécifique ou optimiser la conception de la station de traitement sur la base d'un programme pilote de contrôle sur le terrain.

## Exemples de Conception d'installations pilotes

Les études sur des installations pilotes doivent être planifiées, conçues et surveillées soigneusement pour atteindre les résultats concluants nécessaires pour le développement du modèle et la prédiction de la performance de futures installations de traitement grandeur nature. La réalisation **des aspects suivants est importante dans les installations pilotes:**

- Il est recommandé de faire fonctionner les installations pilotes par **écoulement gravitaire**. La non disponibilité des pompes à faible débit, et le manque de fiabilité des systèmes à exploitation font qu'on devrait éviter autant que possible d'utiliser les pompes, à l'exception des pompes à eau brute. Cela peut être réalisé avec une pompe à fort débit, pour remplir un réservoir d'eau brute deux fois par jour.
- **Les déversoirs en V ou les petits orifices** sont les instruments de contrôle de débit appropriés. L'utilisation de pinces ou de petites vannes n'est pas recommandée parce qu'elles se colmatent rapidement et sont par conséquent incapables de maintenir un débit constant. Les instruments à débit constant, tels la conduite d'entrée flottante (voir aussi la Fig. 33) sont également une option pour le contrôle de débit.
- **Le diamètre des colonnes des filtres** ne devrait pas être trop petit pour réduire le court-circuit des parois latérales dans les filtres pilotes. Le rapport recommandé pour  $d_{\text{colonne}} / d_{\text{matériau}}$  devrait être de 25. Toutefois, pour des préfiltres à gravier, étant donné que le milieu n'est pas intensément compacté le long des parois, ce rapport peut être réduit.
- **Les débits ne devraient pas être trop petits;** c'est-à-dire, pas inférieurs à 0,5 l/min, puisqu'ils sont difficiles à maintenir à un niveau constant.
- **La charge hydraulique** sur l'unité pilote devrait être proche de la valeur maximale recommandée; les unités de filtre lent à sable devraient être exploitées à une vitesse de filtration de 0,2 m/h. Cela va réduire la durée du cycle de fonctionnement du filtre et permettre plusieurs tests du filtre dans une période donnée.
- **La taille des unités de l'installation pilote** ne devrait pas être trop petite et elle doit satisfaire au débit minimal de 0,5 l/min recommandé auparavant.

Les diamètres minimum suivants des conduites sont recommandés.

### Préfiltre à gravier à flux ascendant

pour $V_{F \text{ min}}$ =	0,6 m/h
$\varnothing_{\text{min}}$ =	30 cm
Q =	0,6 l/min

### filtre lent à sable

pour $V_{F \text{ min min}}$ =	0,02 m/h
$\varnothing_{\text{min}}$ =	50 cm
Q =	0,7 l/min

- **Les structures des unités pilotes doivent être robustes.** Des anneaux en béton, des conduites plastiques, des containers en acier ou des parpaings constituent les éléments de structures adéquats. Les boîtes en bois ne sont pas recommandées parce que n'étant pas étanches. Les structures peuvent être des installations temporaires pouvant être utilisées plusieurs fois en différents endroits.
- **Le matériau de filtre** contrôlé doit être le même que celui prévu pour les installations de traitement grandeur nature. Il doit être propre et correctement calibré.
- **Les échantillons pour l'analyse de la qualité de l'eau** devraient être prélevés seulement à l'entrée et à la sortie du filtre. D'autres points de prélèvement dans le lit filtrant devraient être installés seulement dans les grandes unités pilotes où le prélèvement doit être conduit avec beaucoup de précaution afin de ne pas remettre en suspension de nouveau les matières accumulées dans le lit filtrant.
- **L'installation pilote devrait être protégée,** c'est-à-dire couverte pour empêcher le réchauffement de l'eau par le soleil, couverte d'un toit pour éviter les perturbations dues à de fortes pluies et clôturée pour empêcher l'entrée des personnes non autorisées.

- **Le personnel local est recruté** pour exécuter le programme de surveillance. Deux personnes au moins doivent être formées par l'ingénieur du projet responsable des études de contrôle sur le terrain. Il devra aussi visiter l'installation pilote périodiquement, superviser le personnel local et évaluer continuellement les résultats du contrôle de terrain.
- **Le programme de surveillance** est principalement exécuté par le personnel local avec l'équipement de contrôle de terrain stocké sur le site. Le personnel de laboratoire peut s'impliquer dans l'analyse de l'eau pour déterminer les paramètres spécifiques de la qualité de l'eau. Un programme de surveillance du contrôle de terrain est proposé dans le Tableau 5/1.

Les trois figures suivantes illustrent les dispositifs types possibles d'une installation pilote. Le premier exemple présenté dans la **Fig. 5/1 utilise des conduites en béton ou en plastique** pour le contrôle de terrain des préfiltres à gravier à flux ascendant et des filtres lents à sable. Le second exemple présenté dans la **Fig. 5/2 illustre l'utilisation possible d'un container en acier** équipé d'un préfiltre pilote à gravier à flux horizontal. Etant donné que le container en acier est monté sur une plate-forme de chargement de camion mobile, il peut être utilisé ailleurs. Le troisième exemple illustre également une unité pilote de contrôle pour les préfiltres à gravier à flux horizontal. La **Fig. 5/3 présente la structure la plus simple consistant en une tranchée creusée et enduite de plastique et remplie de gravier filtrant**. Pour une installation adéquate du matériel filtrant, les containers ouverts sont nécessaires pour les unités pilotes de préfiltre à gravier à flux horizontal, étant donné que le remplissage des conduites en gravier sera difficile.

<b>fréquence d'échantillonnage</b>			
<b>Paramètre</b>	<b>eau brute</b>	<b>eau prétraitée par préfiltre à gravier</b>	<b>eau traitée par filtre lent à sable</b>
débit	–	journalière	journalière
perte de charge	–	hebdomadaire	tous les 2 jours
turbidité	journalière	journalière	journalière
filtrabilité	hebdomadaire	hebdomadaire	hebdomadaire
matières décantables	pour les turbidités élevées	–	–
coliformes fécaux	mensuelle	mensuelle	mensuelle
éléments chimiques	si nécessaire à des intervalles de temps définis	–	si nécessaire à des intervalles de temps définis

Tableau 5/1 Programme de surveillance du contrôle sur le terrain

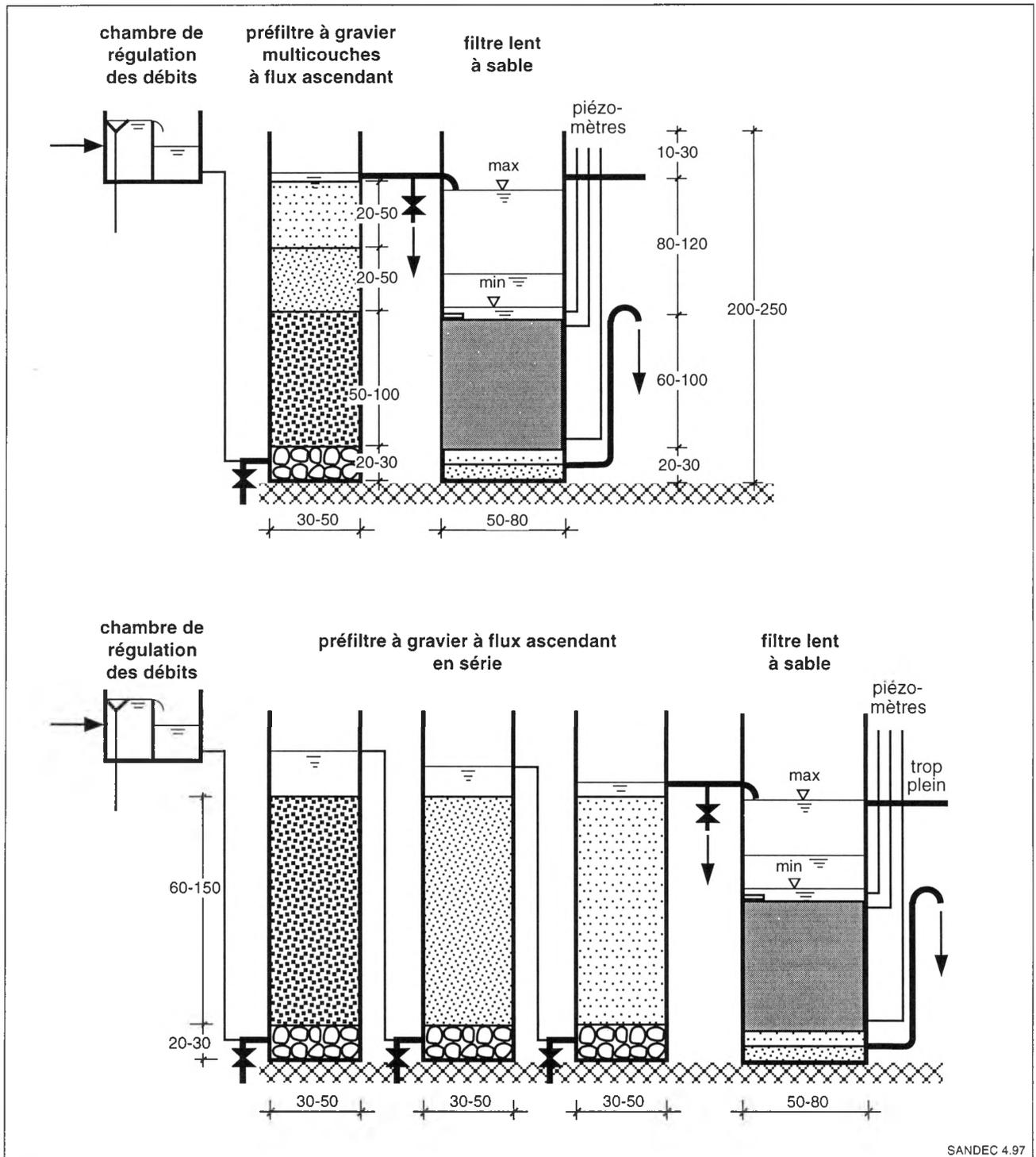


Fig. 5/1 Exemples d'une installation pilote pour un préfiltre à gravier à flux ascendant et pour un filtre lent à sable

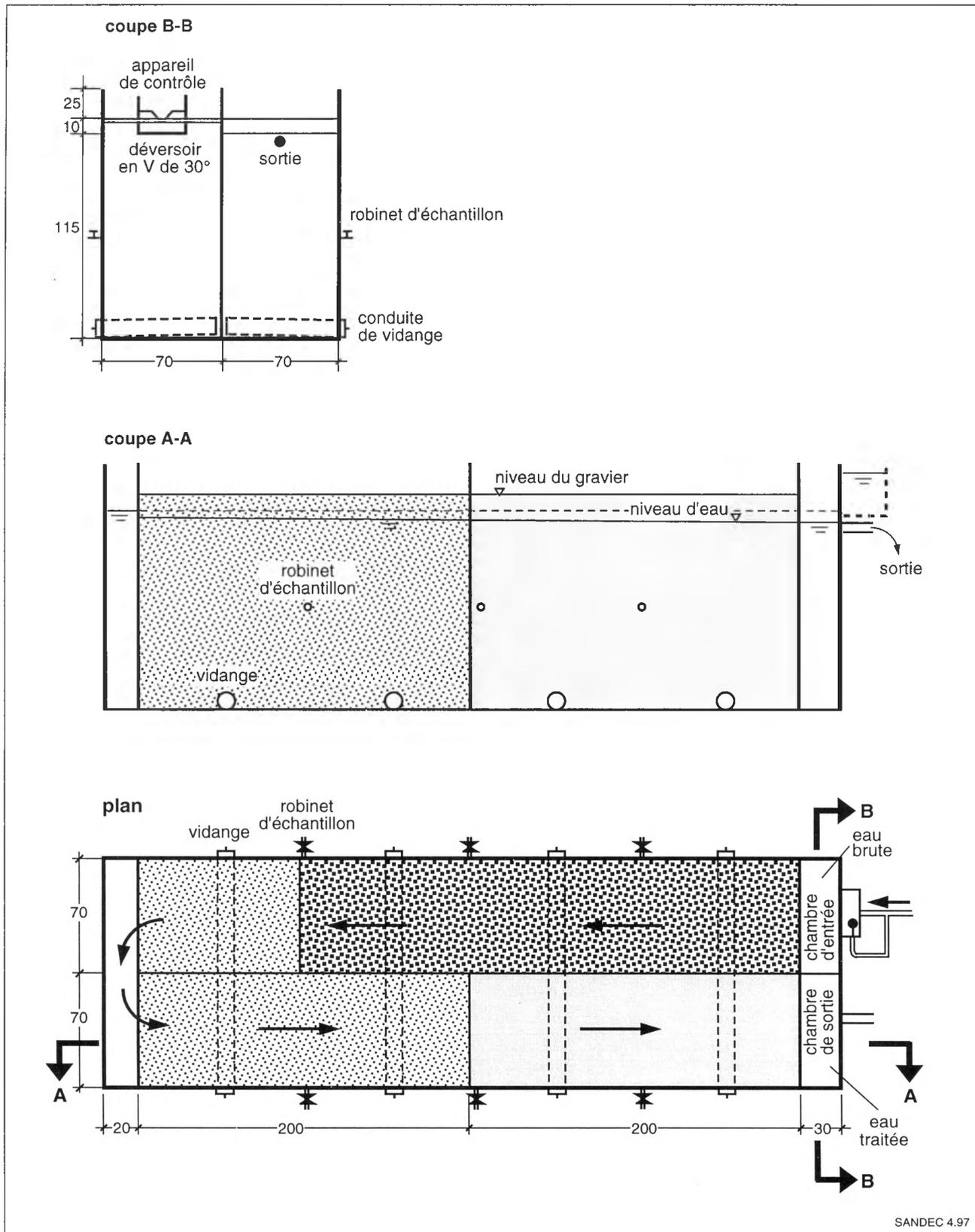


Fig. 5/2 Exemple d'une installation pilote mobile pour un préfiltre à gravier à flux horizontal

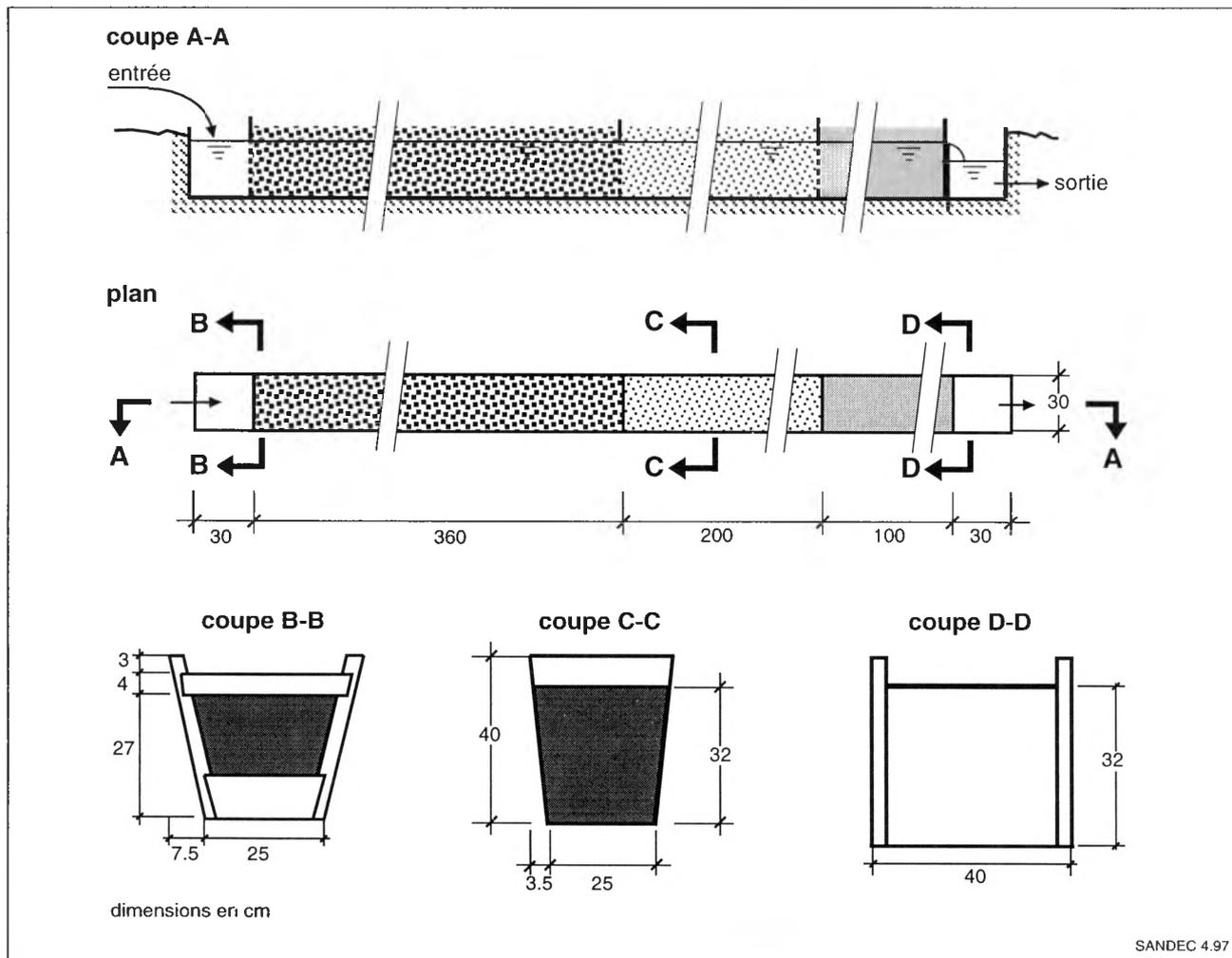


Fig. 5/3 Exemple d'une installation pilote à tranchée pour un préfiltre à gravier à flux horizontal



## **Exemples de conception de préfiltres à gravier**

**6/1 Filtre dynamique**

**6/2 Filtre à la prise d'eau**

**6/3 Préfiltre à gravier à flux horizontal**

**6/4 Préfiltre à gravier à flux ascendant**

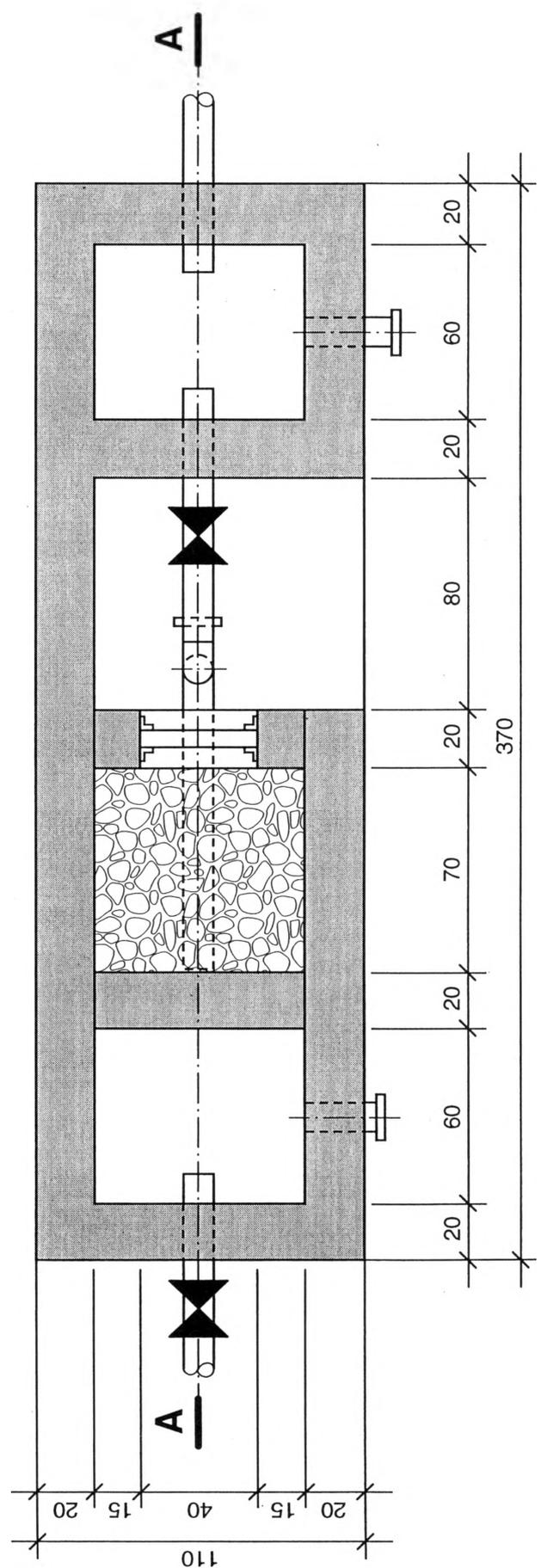
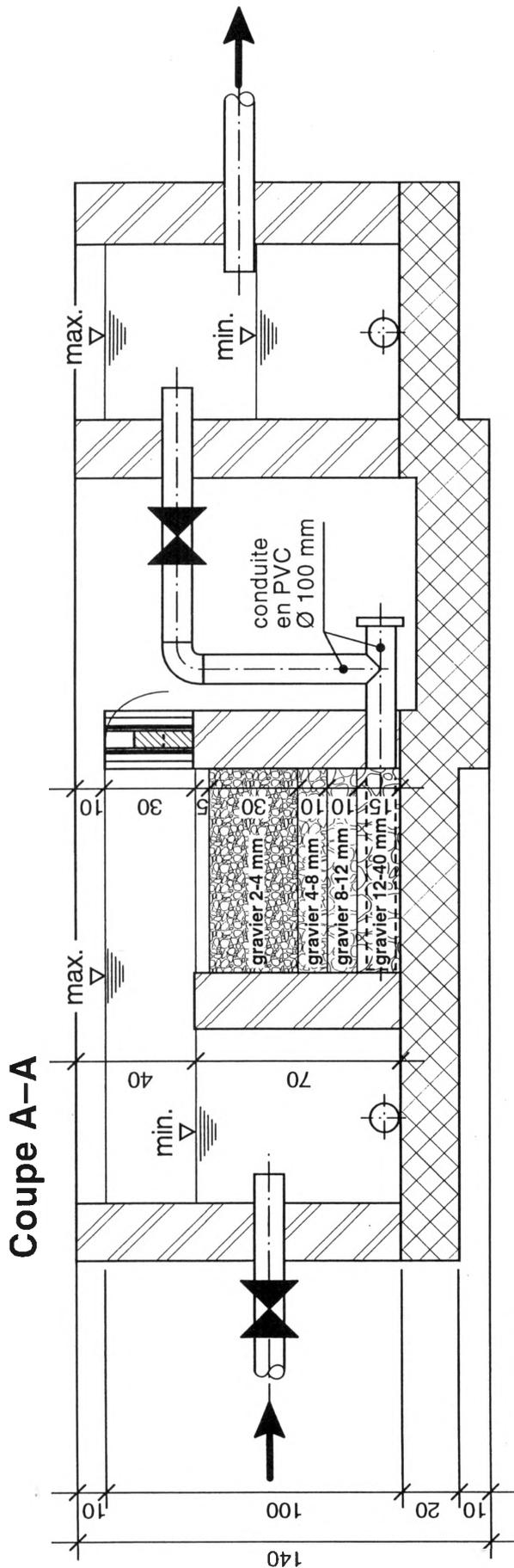
**6/5 Possibilités d'intégration de préfiltres à gravier à flux ascendant dans des stations de traitement existantes**

**6/6 Station de traitement compacte**

**6/7 Algorithme pour la conception d'une station de traitement d'eau de surface**

# Exemple d'un filtre dynamique

## Annexe 6/1



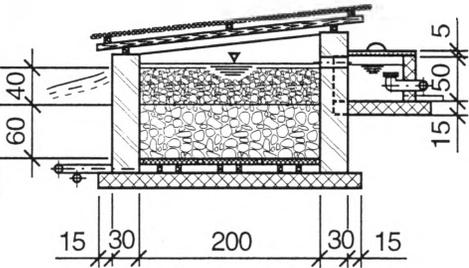




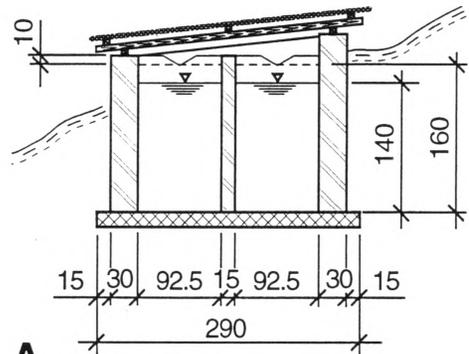
# Exemple d'un préfiltre à gravier à flux ascendant

## Annexe 6/4

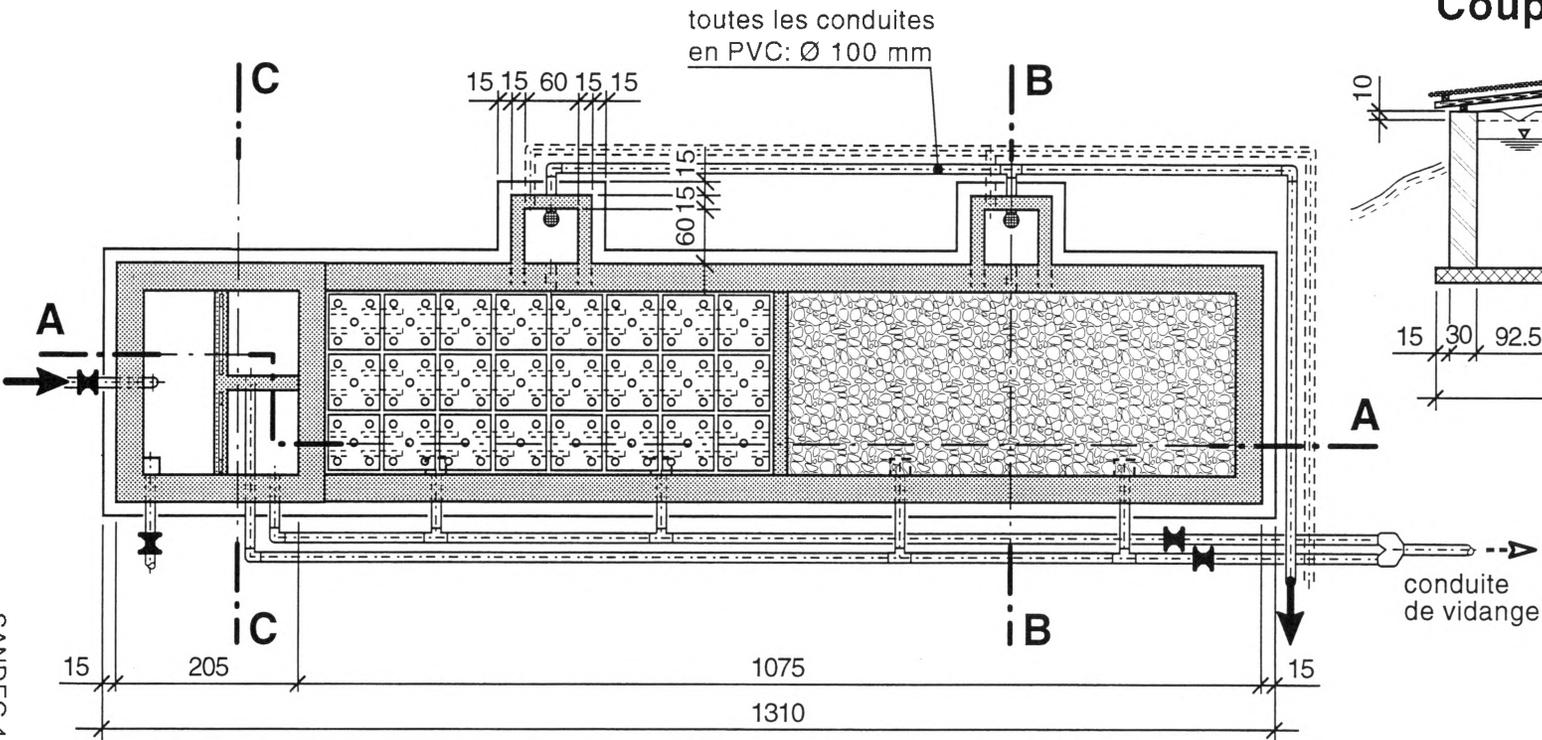
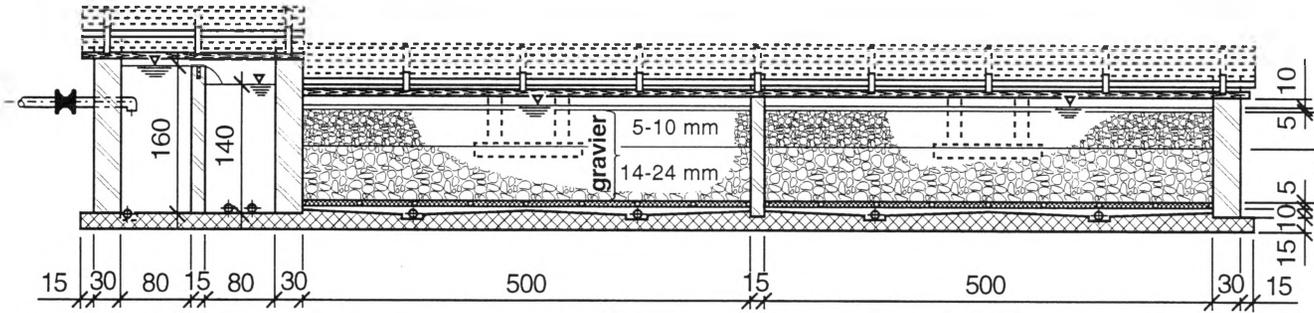
Coupe B-B



Coupe C-C

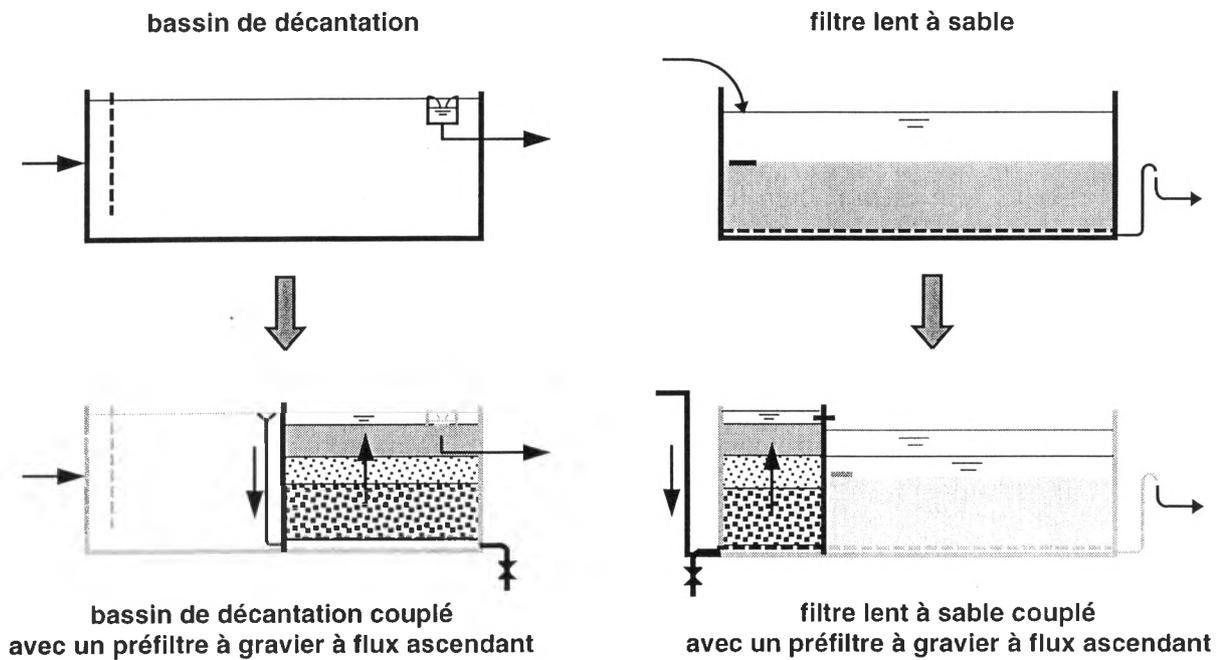


Coupe A-A



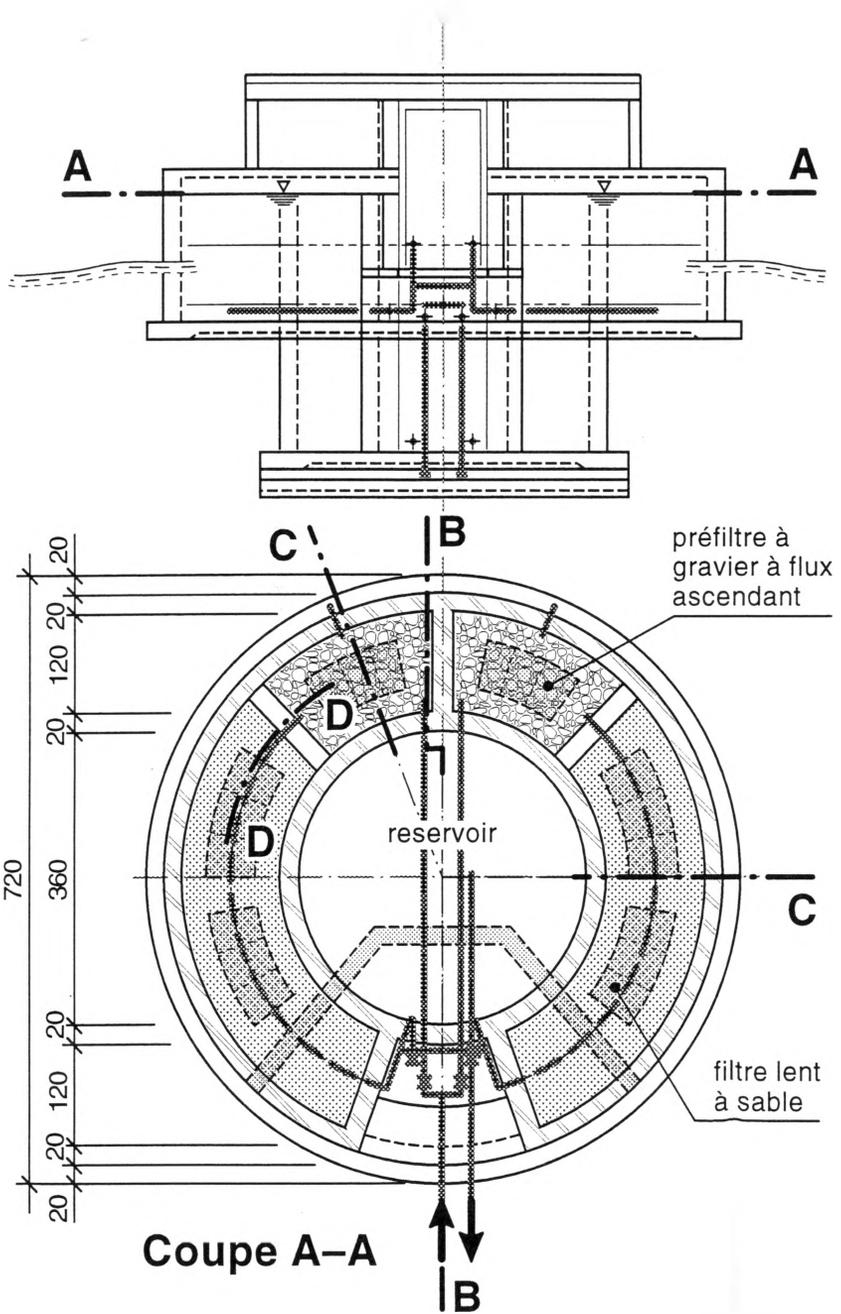
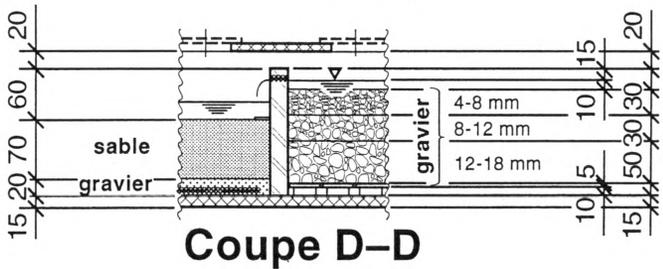
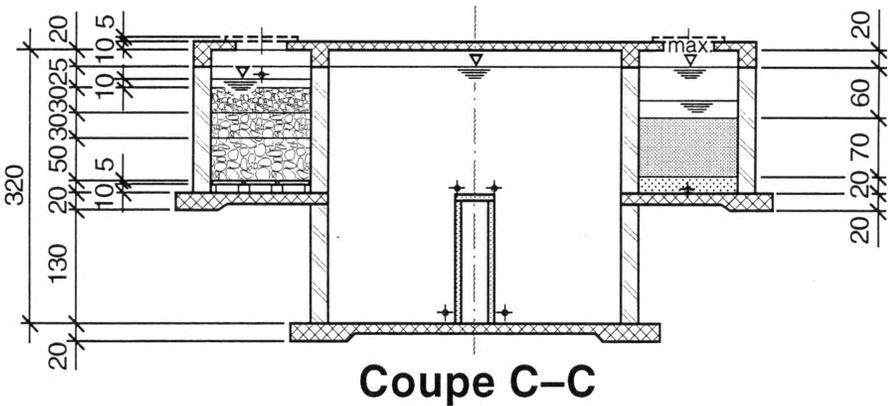
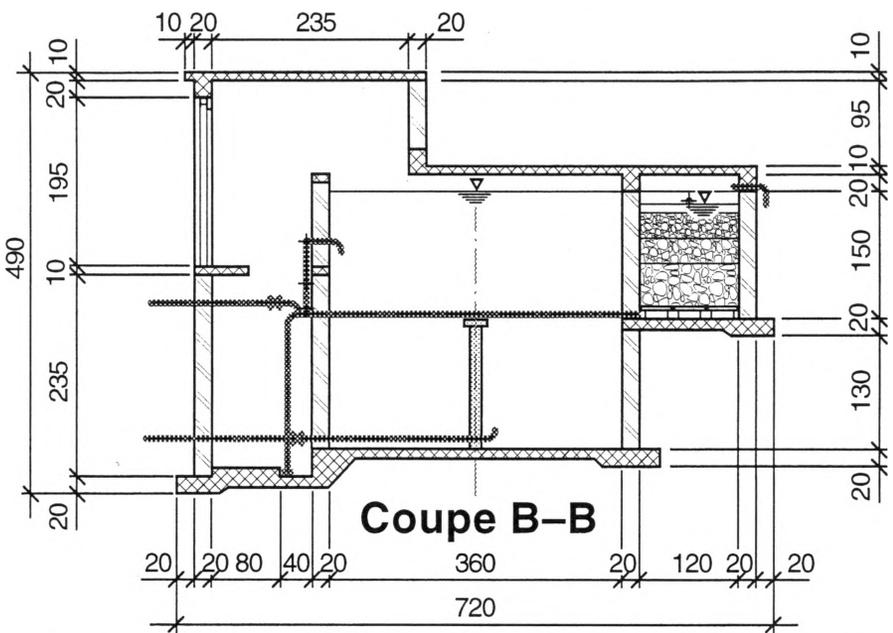
# Dispositifs types pour intégrer un préfiltre à gravier à flux ascendant dans un bassin de décantation ou dans un filtre lent à sable existant

Annexe 6/5



# Exemple de station de traitement compacte

## Annexe 6/6



# Algorithme pour la conception d'une station de traitement d'eau de surface

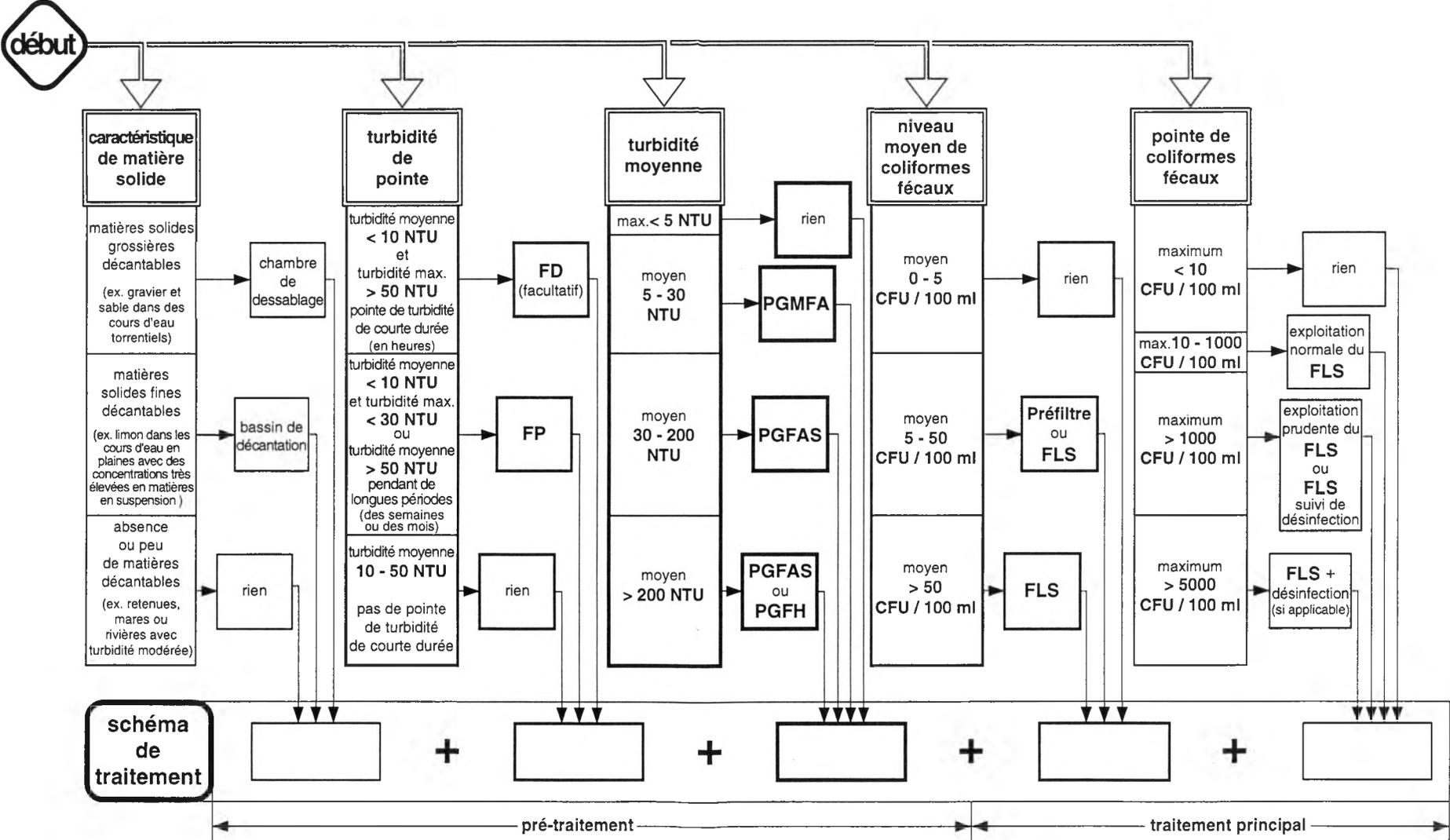
## Annexe 6/7

### Abréviations:

- NTU** Unité Néphéométrique de Turbidité
- CFU** Colonie
- FD** Filtre Dynamique
- FP** Filtre à la Prise

- PGMFA** Préfiltre à Gravier Multicouches à Flux Ascendant
- PGFAS** Préfiltre à Gravier à Flux Ascendant en Série
- PGFH** Préfiltre à Gravier à Flux Horizontal
- FLS** Filtre Lent à Sable

qualité de l'eau brute:



SANDEC 4.97

# Programme de formation des exploitants

## 1. Introduction

Une formation correcte des exploitants, portant sur le fonctionnement et l'entretien des installations d'alimentation en eau est, dans bien des cas, sérieusement négligée. Utilisation incorrecte, dégât et finalement abandon des installations sont généralement les conséquences d'une telle négligence. En effet, un fonctionnement correct et économique d'un système d'alimentation en eau requiert, entre autres, de la main d'oeuvre bien formée et adroite. Une formation complète de l'équipe locale est donc nécessaire.

Le transfert des connaissances est le but principal d'un programme de formation, mais la motivation et les conseils apportés aux exploitants sont d'autres facteurs importants d'un tel programme et il ne devrait donc pas être limité à un enseignement à court terme.

Les exploitants sont de préférence formés dans la langue locale par les superviseurs rattachés à la section exploitation et maintenance de l'institution responsable. Ces superviseurs visiteront aussi régulièrement l'ensemble du système d'alimentation en eau, pour contrôler le bon fonctionnement des installations, aider l'équipe locale dans ses activités et maintenir un échange d'informations entre le terrain et le bureau.

Un programme de formation est sommairement esquissé ci-dessous. Le contenu du programme ne couvre que la partie traitement. Des directives de formation plus complètes pour l'exploitation et la maintenance des systèmes ruraux d'alimentation en eau ont été publiées par l'IRC [63].

## 2. Calendrier

Un programme idéal de formation peut être divisé en trois parties. Le rythme à maintenir, les objectifs, l'emplacement et la durée de chacune des trois parties sont résumés dans le Tableau 7/1.

## 3. Esquisse du programme

Les paragraphes suivants constituent une proposition pour les différentes parties du programme de formation. Cette liste peut être incomplète et nécessiter des adaptations aux conditions locales.

- Partie 1: ■ visite d'une station de traitement existante comprenant des préfiltres à gravier (PG) et des filtres lents à sable (FLS)
- explication du procédé de traitement et du fonctionnement des différentes installations
  - discussion des problèmes de qualité d'eau rencontrés par les installations nouvelles
  - évaluation de l'intérêt des futurs utilisateurs pour le traitement de l'eau.
- Partie 2: ■ les objectifs principaux du traitement de l'eau
- les caractéristiques et les processus principaux du PG et du FLS
  - le fonctionnement du filtre notamment
    - mesures de débits et ajustements
    - détermination de la perte de charge du filtre
    - procédure de (re)mise en service et de lavage du filtre
    - lavage hydraulique et manuel du filtre.
    - lavage du sable et du gravier
    - prélèvements d'échantillons d'eau
  - mesures simples de la qualité de l'eau (turbidité, filtrabilité, matières décantables)
  - le contrôle des installations de traitement (tenue du cahier d'exploitation)
  - les travaux de maintenance
  - le calendrier annuel des travaux
- Partie 3: ■ recyclage et consolidation des connaissances acquises lors des cours de formation de base (partie 2)
- formation sur le fonctionnement et la maintenance sur le site même de l'installation
  - critique et discussion sur les problèmes de fonctionnement rencontrés
  - inspection des installations et organisation des principaux travaux de maintenance
  - examen critique du cahier d'exploitation et des résultats d'exploitation

<b>partie</b>	<b>période</b>	<b>objet</b>	<b>lieu/durée</b>
1	phase d'avant- projet ou avant/pendant la construction de la nouvelle station	présentation du processus de traite- ment aux futurs usagers afin de les sensibiliser	sur le site de la station existante — 1 jour
2	pendant ou à la fin de la construction	formation de base des futurs exploitants en exploitation et maintenance	sur le site de l'an- cienne ou la nouvelle station de traitement — 3 - 5 jours
3	pendant la phase d'exploitation	supervision, et appui aux exploitants dans l'exploitation et la maintenance (échange d'information)	sur le site — par des visites réguliers de terrain

Tableau 7/1 Programme de formation

# Contrôle de l'exploitation du filtre

## 1. But et procédure

Le but d'un programme de contrôle est:

- évaluer le rendement de la station de traitement
- établir des directives pour l'exploitation de la station de traitement
- améliorer le fonctionnement et l'efficacité de la station de traitement.

L'exploitant exécute les mesures de terrain et contrôle le fonctionnement et le rendement de la station de traitement en tenant à jour le cahier d'exploitation. Le superviseur, rattaché à la section exploitation et maintenance de l'institution responsable, surveille le programme de contrôle de l'exploitant en faisant des visites régulières de la station où il prélève des échantillons d'eau pour analyses au laboratoire et résume les résultats d'exploitation dans des rapports annuels.

## 2. Mesures sur le terrain

Le programme de contrôle doit couvrir les aspects quantitatifs et qualitatifs. Les mesures de débit caractérisent les conditions de fonctionnement de l'installation de traitement et fournissent une information quantitative. Les mesures de qualité de l'eau permettent une évaluation qualitative du processus de traitement. Le fonctionnement de la station de traitement nécessite un contrôle et des ajustements du débit journaliers. Les mesures de la qualité de l'eau devraient aussi être exécutées régulièrement, soit une fois par semaine. L'équipement nécessaire pour les mesures de débit et de la qualité de l'eau doit donc se trouver en permanence sur chaque station de traitement.

Une proposition de programme de contrôle sur le terrain est résumée dans le Tableau 8/1.

## 3. Analyses chimiques et bactériologiques de l'eau

Les analyses chimiques et bactériologiques de l'eau nécessitent des équipements plus coûteux qui ne peuvent généralement pas être mis à la disposition de chaque station de traitement. Les mesures doivent en

être exécutées par une équipe professionnelle. Il est donc recommandé au superviseur d'exécuter ces mesures, soit sur le site avec l'équipement de mesure de terrain amené du laboratoire, soit de prélever des échantillons qui seront analysés au laboratoire. Les mesures sur le terrain permettent d'éviter les problèmes de délai et de mélange des échantillons d'eau. Elles devraient donc être prises en considération à la condition que l'équipement de mesure soit correctement entretenu et contrôlé avant chaque départ sur le terrain.

Une proposition de programme de contrôle chimique et bactériologique est résumée dans le Tableau 8/2.

## 4. Visite sur le terrain

Le superviseur dirigera personnellement la formation sur le site de l'exploitant. Il sera donc aussi présent pendant la phase initiale de mise en service de la station. Plus tard, il assistera l'exploitant dans ses activités journalières et surveillera le fonctionnement, l'entretien et le contrôle de la station. La fréquence de ses visites dépend, entre autres, des capacités de l'exploitant à assurer le fonctionnement de son installation d'alimentation en eau. Néanmoins, au début, les visites sur le terrain seront hebdomadaires, puis mensuelles et, enfin, tous les 2 à 3 mois.

Une telle assistance post-projet est essentielle pour assurer une utilisation correcte des installations pour identifier rapidement les éventuels problèmes et pour acquérir des expériences pratiques pour les futurs projets.

## 5. Evaluation

Les résultats du programme de contrôle sont résumés dans un rapport annuel par le superviseur. Ces rapports incluent les feuilles de résultats des mesures de terrain et peut-être des analyses effectuées au laboratoire. Ils contiennent aussi une description sommaire des résultats et des problèmes d'exploitation (rendement de l'installation, problèmes pratiques rencontrés, événements exceptionnels) et des activités planifiées dans le futur (modification du fonctionnement de l'installation, importants travaux de maintenance; etc.)

<b>paramètre</b>	<b>lieu de mesure</b>	<b>fréquence</b>
débit	FG + FLS	tous les 2 jours
perte de charge	FG	hebdomadaire
perte de charge	FLS	tous les 2 jours
turbidité filtrabilité	de l'eau brute et de l'eau sortie des FG + FLS (pour les turbidités élevées le filtrat de chaque FG)	2 fois par semaine  (tous les jours pendant les périodes de haute turbidité)
matières décantables	eau brute	hebdomadaire

Tableau 8/1 Contrôle de terrain

<b>analyses</b>	<b>fréquence</b>	<b>échantillon</b>
E.Coli ou Coliformes Totaux ou Streptocoques Fécaux	Eau brute et eau sortie de FG + FLS	mensuelle durant la première moitié de l'année, puis occasionnellement
pH conductivité dureté totale alkalinité Ca++ Mg++ conc. MES	eau brute	tous les 2 mois

Tableau 8/2 Programme de contrôle bactériologique et chimique

## Tableau de conversion

longueur	1	m	=	3.2808	ft	1	ft	=	0.3048	m
	1	mm	=	0.0394	in.	1	in.	=	25.4	mm
surface	1	m <sup>2</sup>	=	10.7639	ft <sup>2</sup>	1	ft <sup>2</sup>	=	0.0929	m <sup>2</sup>
	1	cm <sup>2</sup>	=	0.1550	in. <sup>2</sup>	1	in. <sup>2</sup>	=	6.452	cm <sup>2</sup>
volume	1	m <sup>3</sup>	=	35.31	ft <sup>3</sup>	1	ft <sup>3</sup>	=	0.0283	m <sup>3</sup>
	1	litre	=	0.2642	gal	1	gal	=	3.785	litre
vitesse	1	m/h	=	3.2808	ft/h	1	ft/h	=	0.3048	m/h
	1	m/s	=	3.2808	ft/s	1	ft/s	=	0.3048	m/s
débit	1	m <sup>3</sup> /h	=	35.31	ft <sup>3</sup> /h	1	ft <sup>3</sup> /h	=	0.0283	m <sup>3</sup> /h
	1	m <sup>3</sup> /s	=	35.31	ft <sup>3</sup> /s	1	ft <sup>3</sup> /s	=	0.0283	m <sup>3</sup> /s
	1	m <sup>3</sup> /h	=	264.2	gal/h	1	gal/h	=	3.785	litre/h
	1	m <sup>3</sup> /s	=	264.2	gal/s	1	gal/s	=	3.785	litre/s
	vitesse de filtration	1	m/h	=	0.4092	gpm/ft <sup>2</sup>	1gpm/ft <sup>2</sup>	=	2.444	m/h
		1	°C	=	(1°F - 32)×5/9		1	°F	=	9/5 °C + 32



# Remerciements

## Soutien financier

Le Projet de Préfiltre à Gravier de SANDEC a été co-financé par

- La Direction du Développement et de la Coopération Suisse (DDC)
- L'Institut Fédéral Suisse de Sciences et de Technologie de l'Environnement (EAWAG)
- La ville de Zurich
- L'association Suisse pour les industries du gaz et de l'eau (SVGW)
- Le service des eaux de Zurich

## Principaux partenaires de coopération

De nombreuses institutions et organisations locales ont coopéré avec SANDEC dans le projet de préfiltre à gravier. Nous aimerions exprimer notre gratitude pour leur intérêt et leurs efforts. Nos remerciements particuliers à:

- CINARA, Gerardo Galvis  
Instituto de Investigación y Desarrollo en Agua Potable,  
Saneamiento Básico y Conservación del Recurso Hídrico  
A.A. 25157, Cali, Colombie
- DelAgua, Mauricio Pardon  
c/o Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS)  
Casilla Postal 4337, Lima, Pérou
- UNR, Ana Maria Ingallinella  
Dept. de Hidráulica e Ingeniería Sanitaria  
Universidad Nacional de Rosario  
Riobamba 245 bis, 2000 Rosario, Argentine
- Afrowood Ltd., Kolly Dorcoo  
P.O. Box 5001, Accra-North, Ghana
- Helvetas Cameroun, Thomas Zimmermann  
P.O. Box 114, Bamenda, Cameroun
- UDSM, Tolly Mbwette  
Faculty of Engineering, University of Dar es Salaam  
P.O. Box 35131, Dar es Salaam, Tanzanie
- EWW, Mesfin Shenkut  
Ethiopian Water Works  
P.O. Box 30504, Addis Abeba, Ethiopie
- BNHP, Sadig Abdel Basit  
Blue Nile Health Project  
P.O. Box 101, Wad Medani, Soudan
- ZHAS, Xu Xiang-Kuan  
Zhejiang Health and Anti-Epidemic Station  
17 Lao Zheda Road, Hangzhou 310009, Chine

## Comité de lecture

Nous remercions les personnes suivantes pour leur commentaires et suggestions utiles:

- Gerardo Galvis, CINARA, Cali, Colombie
- Mauricio Pardo, PAHO, Mexique
- Ivanildo Hespanhol, ex WHO, Sao Paulo, Brésil
- Luiz di Bernardo, Sao Paulo, Brésil
- Ana Maria Ingallinella, UNR, Rosario, Argentine
- Sergio Caporali, CEPIS, Lima, Pérou
  
- Kolly Dorcoo, Afrowood, Accra, Ghana
- Thomas Zimmermann, Helvetas, Bamenda, Cameroun
- Tolly Mbwette, UDSM, Dar es Salaam, Tanzanie
- Mesfin Shenkut, ex SDRU, Addis Abeba, Ethiopie
- Amadou Maiga, EIER, Ouagadougou, Burkina Faso
- Gunnar Schultzberg, ex UNDP/WB, Nairobi, Kenya
- E. Masendu, Harare, Zimbabwe
- Gerard Offringa, WRC, Prétoria, Afrique du Sud
  
- R. Paramesivan, NEERI, Nagpur, Inde
- Srilal Wijegoonewardene, NWDB, Mount Lavinia, Sri Lanka
- Chongrat Polprasert, AIT, Bangkok, Thaïlande
- Niu Shiru, CAMS, Beijing, Chine
- Xu Xiang-Kuan, ZHAS, Hangzhou, Chine
  
- Jan Teun Visscher, IRC, La Hayes, Pays Bas
- Nigel Graham, Imperial College, London, Angleterre
- Barry Lloyd, Robens Institute, Guildford, Angleterre
- Robin Collins, University of New Hampshire, Durham, USA
- Gourisankar Ghosh, Unicef, New York, USA
- John Kalbermatten, ex WB, Washington, USA
- José Hueb, WHO, Geneva, Suisse
  
- Ernst Trüeb, ETH, Winterthur, Suisse
- Maarten Schalekamp, ex-President IWSA, Zurich, Suisse
- Karl Wehrle, SKAT, St.Gallen, Suisse
- Armon Hartmann, DDC, Berne, Suisse
- Paul Peter, DDC, Berne, Suisse
- Markus Boller, EAWAG, Suisse

## Figures

Toutes les figures et les illustrations ont été produites par l'auteur. Toutefois, les figures suivantes ont été adaptées des originaux cités ci-après:

Fig. 5/2	adaptation du	Projet de retenues d'eau villageoises Tamalé, Ghana
Fig. 5/3	adaptation de	l'Installation pilote de Plumbon, Indonésie CDC, Centre pour les pays en développement, Lyngby, Danemark
Fig. 6/1	adaptation de	Guzang II, Helvetas, Bamenda, Cameroun
Fig. 6/2	adaptation de	Jomatt College, Helvetas, Bamenda, Cameroun
Fig. 6/3	adaptation de	l'Installation de traitement d'eau CIDER, Restrepo, CINARA, Cali, Colombie
Fig. 6/4	adaptation de	Bambui, Helvetas, Bamenda, Cameroun
Fig. 6/6	adaptation de	Nsuke, Helvetas, Bamenda, Cameroun

## Photos

Toutes les photos ont été prises par l'auteur à l'exception de:

Photo sur la page	V – 4	DelAgua, Pérou
Photo sur la page	V – 8	Roland Schertenleib, SANDEC
Photo sur la page	VII – 5	Toni Lejeune, SDR
Photo sur la page	VIII – 4	Arnold Furrer, SDR
Photo sur la page	XI – 3	DelAgua, Pérou
Photo sur la page	XII – 8	Patrik Lund, CDC
Photo sur la page	XIII – 3	Toni Lejeune, SDR
Photo sur la page	XIV – 11	Andréa Pozzi, ETH





Cette publication présente le principe, la conception et l'expérience du terrain sur les préfiltres à gravier en tant que procédé de prétraitement avant les filtres lents à sable. Il décrit les processus de traitement qui transforment l'eau de surface turbide en eau potable sûre. Les méthodes de traitement présentées sont simples, efficaces, et fiables et, par conséquent, appropriées pour les systèmes d'alimentation en eau en milieu rural.

Le traitement de l'eau de surface nécessite généralement au minimum deux étapes de traitement.

La première étape, appelée aussi prétraitement, se concentre principalement sur l'élimination des matières solides. La préfiltration à l'aide de préfiltres à gravier est un procédé simple et efficace pour l'élimination des matières solides. En plus, les préfiltres à gravier contribuent aussi à l'amélioration de la qualité bactériologique de l'eau.

La seconde étape, généralement considérée comme le traitement principal, s'applique principalement à l'élimination ou à la destruction des micro-organismes restants, soit par la filtration lente à sable soit par la chloration.

Ce manuel traite principalement de la conception, la construction et l'exploitation des préfiltres à sable et des préfiltres à gravier. Il est recommandé aux enseignants et étudiants comme un livre d'école, aux ingénieurs comme manuel de conception, et aux techniciens comme guide pour l'exploitation et la maintenance des stations de traitement.

Le manuel tire ses précieuses informations à partir d'une vaste expérience du terrain, illustrées par des petites anecdotes disséminées à travers le livre.

ISBN: 3-908001-71-4