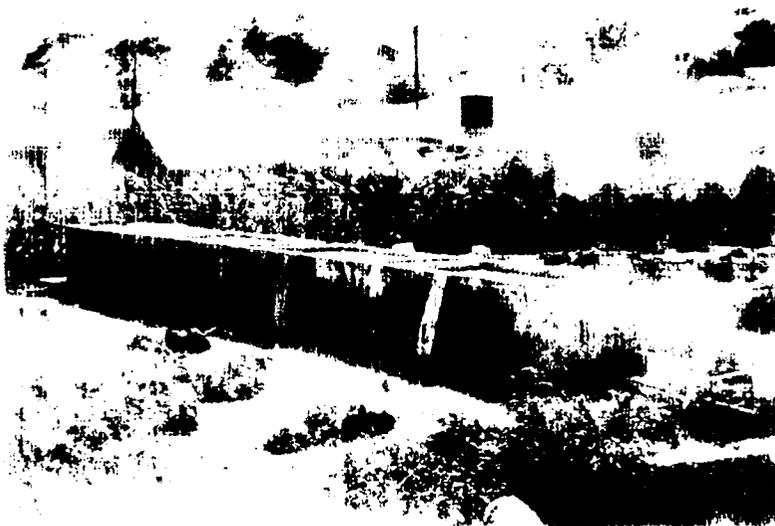


255.4

87 PR

PREFILTRE A FLUX HORIZONTAL (PFH)

Un manuel de conception,
de construction et d'exploitation



255.4-87PR-4269

LIBRARY, INTERNATIONAL REFERENCE PUBLICATION IRCWD No 07/87
CENTRE FOR COMMUNITY WATER SUPPLY
AND SANITATION (IRC) Avril 1987

P.O. Box 93100, 2309 AD The Hague
Tel. (070) 814911 ext. 141/142

RN: ~~φ#207~~ 4269
LO: 255.4 87 PR

1st copy

PREFILTRE A FLUX HORIZONTAL (PFH)

un manuel de conception, de construction et d'exploitation

Martin Wegelin, Ingénieur sanitaire, IRCWD

Révision du texte : Sylvie Peter
Dactylographie: Brigitte Hauser
Illustrations : Heidi Bolliger
Traduction française : Christian Junker

Projet soutenu par la Direction de la coopération suisse au Développement
et de l'Aide humanitaire

PREFACE

Ce manuel présente l'état actuel des connaissances dans le domaine des Préfiltres à Flux Horizontal (PFH). Il couvre les domaines de la conception, de la construction, du fonctionnement et de la maintenance de ce type de technologie et s'adresse principalement aux ingénieurs concepteurs et aux responsables de la construction et de l'exploitation.

Le préfiltre à flux horizontal est utilisé comme prétraitement avant une filtration lente sur sable. Il permet de réduire la turbidité de l'eau brute. Le procédé de traitement est basé sur des processus naturels de purification et ne dépend donc pas de l'utilisation de produits chimiques. Bien que l'installation de préfiltration soit relativement grande, elle peut généralement être construite avec des matériaux locaux. Cette technologie a essentiellement été développée pour les systèmes d'alimentation en eau potable des zones rurales et des petites zones urbaines.

La méthode a été testée au laboratoire de l'Université de Dar es Salaam. Le potentiel de purification de ces préfiltres a été confirmé par des essais en vraie grandeur en Tanzanie. Grâce à l'appui de la coopération suisse au développement et de l'Institut fédéral pour l'aménagement, l'épuration et la protection des eaux (EAWAG, Suisse), le centre international de référence pour la gestion des déchets (IRCWD) a eu l'occasion de tester de manière intensive, à l'échelle du laboratoire, le procédé PFH. Ces expériences permettent une meilleure compréhension des mécanismes de fonctionnement du PFH et des critères pratiques de dimensionnement. Ce manuel est le résultat de ces expériences et présente l'état actuel des connaissances de la technologie PFH.

Nous exprimons notre vive reconnaissance aux personnes qui ont relu ce manuel :

M. H. Egerrup, DANIDA, Iringa/Tanzanie
M. D. Gubler, Ex-SATA-Helvetas, Zurich/Suisse
M. A. Hartmann, DDA, Berne/Suisse
MM. B. Lloyd et M. Pardon, CEPIS, Lima/Pérou
M. T.S.A. Mbvette, Collège Impérial, Londres/Angleterre
M. V. Nilsgard, NORAD, Sumbawanga/Tanzanie
Dr. S. Stoveland, Ministère du développement de l'eau, Nairobi/Kenya
Prof. E. Trüb, ETH, Zurich/Suisse
M. J.T. Visscher, IRC, La Haye/Hollande
M. K. Wehrle, SKAT, St-Gall/Suisse
Dr. M. Boller, EAWAG, Dübendorf/Suisse
M. M. Strauss, IRCWD, Dübendorf/Suisse

La technologie du Préfiltre à Flux Horizontal est encore en développement. L'efficacité du préfiltre en fonction des différentes caractéristiques des eaux brutes n'a pas été établie. Les expériences pratiques montrent qu'une efficacité raisonnable est obtenue avec des eaux brutes ayant une turbidité comprise entre 50 et 200 unités de turbidité. Toutefois, les premiers tests de terrain ont montré que, durant quelques semaines, les mêmes préfiltres pouvaient supporter des eaux ayant une turbidité jusqu'à 1000 unités de turbidité. Les possibilités de régénération et de nettoyage du préfiltre sont actuellement encore à l'étude.

Par conséquent ce manuel fournit des lignes directrices expérimentales permettant aux responsables d'introduire cette technologie de préfiltre et de collecter des informations supplémentaires sur leur fonctionnement et leur maintenance. Nous souhaitons recevoir vos commentaires critiques sur ce manuel et le résultat de vos expériences pratiques avec le PFH, dans le but de publier une version révisée dans approximativement 1-2 années.

J'aimerais profiter de cette occasion pour exprimer ma gratitude aux personnes qui ont joué un rôle important dans ce projet PFH, notamment au Prof. E. Trüb, au Dr. M. Boller et à M. A. Hartmann.

Roland Schertenleib
Directeur IRCWD

Le texte français de ce document a été réalisé par l'Institut du Génie de l'Environnement de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (Suisse). Cet institut contribue à la formation de techniciens dans le domaine du Génie sanitaire pour les pays en développement.

TABLE DES MATIERES

	Page
<u>Partie A :</u> pour une brève vue d'ensemble :	
RESUME	1
L'envergure du problème et sa solution possible	
pour les adeptes des dessins animés:	
Un sérieux problème et la possibilité d'une solution heureuse	3
 <u>Partie B :</u> pour plus de détails:	
pourquoi choisir un PFH ?	
1. INTRODUCTION ET IDENTIFICATION DES PROBLEMES	5
comment concevoir un PFH ?	
2. PRINCIPALES CARACTERISTIQUES ET CONCEPTION D'UN PFH	11
où intégrer un PFH ?	
3. CONCEPTION DES INSTALLATIONS DE TRAITEMENT DE L'EAU	21
comment construire un PFH ?	
4. CONSTRUCTION DU PFH	33

	comment exploiter et entretenir un PFH ?	
	5. EXPLOITATION ET MAINTENANCE D'UN PFH	41
	que coûte un PFH ?	
	6. CONSIDERATIONS ECONOMIQUES	58
	comment dimensionner un PFH ?	
	7. EXEMPLE DE DIMENSIONNEMENT	64
	êtes-vous convaincu par le PFH ?	
	8. CONCLUSIONS ET REMARQUES FINALES	81
Bibliographie		83
Abréviations		84
Table des matières détaillée		85
<u>Partie C :</u>	pour le praticien motivé:	87
Annexe	1 Nomogramme pour la conception d'un PFH	
	2 Méthodes simples d'analyse de la qualité des eaux	
	3 Méthodes simples de mesure de débits	
	4 Détails constructifs d'un PFH	
	5 Données principales et caractéristiques d'un FLS	
	6 Formulaire de dimensionnement	
	7 Programme de formation des exploitants	
	8 Programme de contrôle pour PFH et FLS	
	9 Exemples d'application de PFH	

partie A

RESUME

**L'ENVERGURE DU PROBLEME
ET SA SOLUTION POSSIBLE**

La filtration lente sur sable est généralement considérée comme le procédé de traitement de l'eau le plus approprié aux pays en développement. Sa capacité d'améliorer significativement la qualité bactériologique de l'eau, sans avoir recours à des produits chimiques, parle en faveur de ce procédé. Cependant, ces filtres sont fréquemment surchargés par des matières en suspension diminuant considérablement le temps d'opération des filtres. Ainsi, un prétraitement de l'eau brute est presque toujours nécessaire.

Une simple décantation ou un stockage prolongé ne permettent généralement pas de réduire les concentrations en matières en suspension à des niveaux assurant un fonctionnement correct des filtres lents à sable. L'application sérieuse, dans les pays en développement, de la réduction des matières en suspension par une floculation chimique cause beaucoup de problèmes pratiques et d'exploitation. Enfin, les procédés conventionnels de filtration rapide sur sable exigent des systèmes compliqués de lavage à contre-courant et sont d'un niveau technique supérieur au procédé de la filtration lente sur sable. Pour ces différentes raisons, tous ces procédés, combinés à des filtres lents à sable, sont souvent inappropriés.

La préfiltration à flux horizontal permet de combler ce vide. Ce préfiltre est formé d'un simple bassin rempli de graviers de différentes tailles (du plus grossier au plus fin) comme le montre la fig. 1.

Les préfiltres à flux horizontal peuvent avoir des durées de fonctionnement de plusieurs mois grâce à leur grande capacité de stockage des matières en suspension. Ces durées de fonctionnement sont similaires à celles des filtres lents à sable. Ce manuel s'adresse aux ingénieurs concepteurs et aux responsables de la construction et de la formation des exploitants. Il a été conçu comme un outil pratique pour la réalisation d'un préfiltre à flux horizontal. Il est ainsi possible, grâce à cette méthode de prétraitement, indépendante et robuste, d'utiliser avec succès le procédé de la filtration lente sur sable.

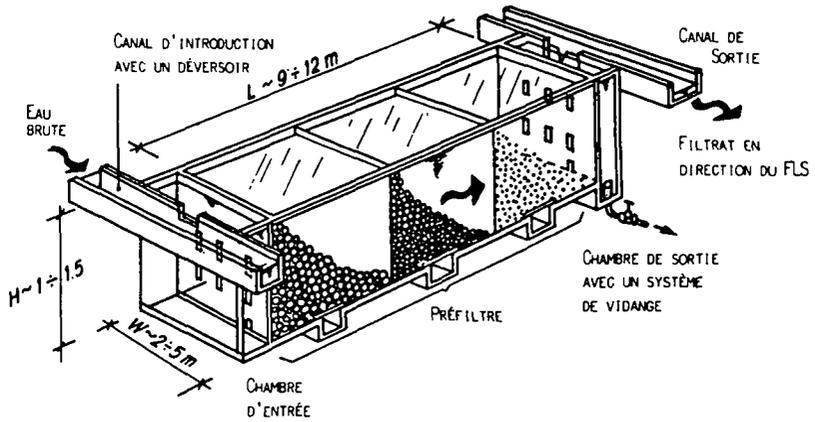
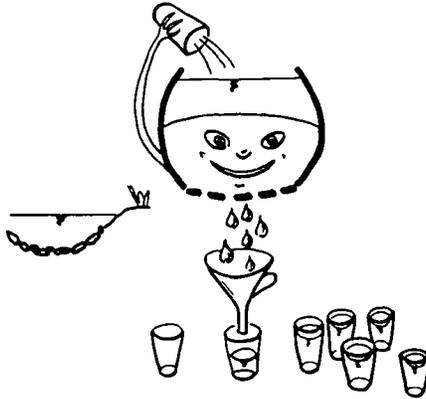


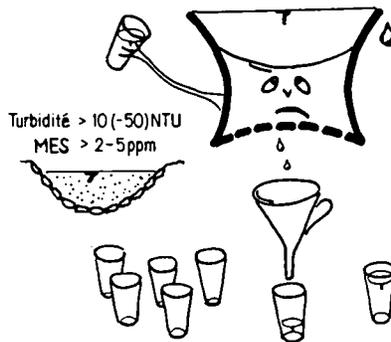
Fig. 1 Caractéristiques principales d'un préfiltre à flux horizontal

pour les adeptes des dessins animés :

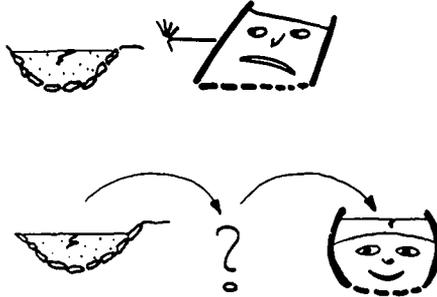
UN SERIEUX PROBLEME ET LA
POSSIBILITE D'UNE SOLUTION HEUREUSE



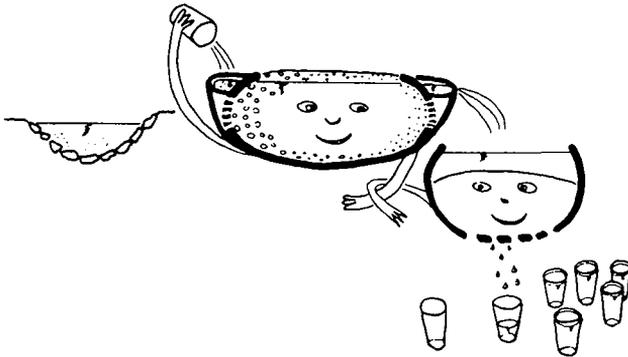
Bonjour, je m'appelle mademoiselle filtre lent à sable. Comment allez-vous ? Je vais bien car les gens m'admirent. Pourquoi ? A cause de mon aptitude à produire de l'eau potable claire et, peut-être, aussi de ma modestie qui est grandement appréciée par les hommes.



En fait, je ne suis pas aussi modeste et calme que les gens le pensent. Je peux être complètement perturbée, notamment si je bois de la mauvaise eau turbide. Je suis alors prise de vertige car la pression de l'eau fait presque éclater ma tête, et je ne suis pratiquement plus capable de produire de l'eau.



Certaines personnes, conscientes de mes difficultés, ont essayé de m'aider en ajoutant des produits chimiques, notamment du sulfate d'aluminium, à l'eau turbide pour améliorer ma condition. Cependant, assez souvent je n'en ressens aucune amélioration car soit les floccs me gênent, soit les produits chimiques s'épuisent - et j'ai une nouvelle attaque ! Le seul remède pouvant me guérir est : pas d'eau turbide ! Mais comment atteindre cet objectif ?



Chic, j'ai trouvé ce que je cherchais : un bon ami sympathique qui s'appelle Monsieur préfiltre à flux horizontal - quel drôle de nom. Je l'ai surnommé "PREFOR". En tout cas, il se comporte comme un vrai gentleman et me protège très sévèrement des eaux turbides. J'attends avec beaucoup d'impatience notre lune de miel qui n'aura, j'espère, jamais de

FIN

Partie B : **pourquoi choisir un PFH ?**
(PFH = Préfiltré à Flux Horizontal)

1. INTRODUCTION ET IDENTIFICATION DES PROBLEMES

La consommation des **eaux souterraines et de sources** est généralement sûre. L'eau provenant de telles sources subit une purification naturelle lorsqu'elle percole à travers les pores du sol. Notamment des organismes dangereux tels que bactéries, virus, protozoaires, oeufs et vers - connus sous le nom de pathogènes - sont généralement supprimés dans une proportion telle qu'ils ne présentent plus de danger pour la santé humaine.

Par contre, les **eaux de surface** ne sont pas protégées et sont ainsi exposées en permanence à d'éventuelles contaminations fécales. Les processus de purification naturelle des eaux de surface sont moins prononcés à cause de l'interface plus faible existant entre l'eau et les matériaux solides. En outre, un écoulement d'eau, qui agit alors comme moyen de transport, peut propager des agents pathogènes jusqu'aux consommateurs situés à l'aval d'un site pollué.

De nombreuses personnes dans le monde sont obligées d'utiliser des eaux de surface, des eaux provenant de rivières polluées, de canaux d'irrigation, d'étangs et de lacs. Dans les régions où aucune autre source d'eau n'existe, le traitement de telles eaux, notamment pour améliorer leur état bactériologique, est nécessaire si la contamination par l'homme et/ou les animaux est significative (soit si l'eau contient plus de 100 E. coli/100 ml.).

La Filtration Lente sur Sable (FLS) copie le processus naturel de purification qui se produit dans une nappe aquifère. Lorsque de l'eau de surface, dont la qualité n'est pas suffisante, traverse une couche de sable, elle est transformée en une eau dont la qualité peut être comparée à celle d'une eau souterraine. Au siècle dernier, lors des menaces d'épidémie de choléra, les spécialistes européens découvrirent les avantages du FLS. Cette technique a démontré son efficacité contre les maladies d'origine hydrique et, en combinaison avec d'autres améliorations sanitaires, a permis d'éradiquer ces épidémies d'Europe. Encore aujourd'hui, de nombreux systèmes d'alimentation en eau des pays industrialisés sont équipés, entre autre, de filtres lents à sable.

Les caractéristiques principales d'un filtre lent à sable (FLS) sont présentées sur la fig. 2. Un FLS est formé d'un bassin ouvert contenant une couche de sable d'environ 1 mètre d'épaisseur. La partie supérieure du bassin filtrant est remplie avec l'eau à filtrer. Cette eau qui coule par gravité à travers la couche de sable est recueillie au fond du bassin par un système de drainage et est amenée, par l'intermédiaire d'une installation de mesure de débit, à un

réservoir d'eau potable. Une surface de 1 mètre carré de sable permet de traiter quotidiennement de 2.5 à 5 m³ d'eau brute.

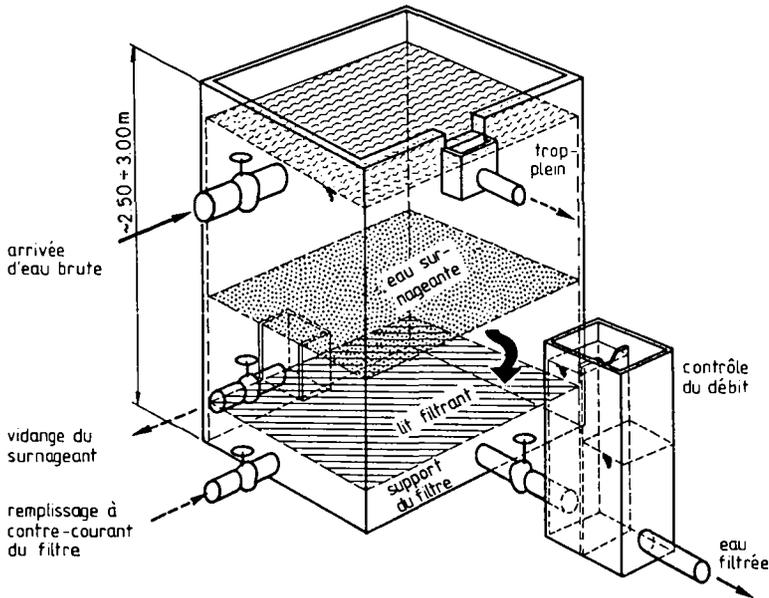


Fig. 2 Caractéristiques principales d'un filtre lent à sable (FLS)

Le filtre lent à sable a le grand avantage d'être sûr et stable, simple et fiable et peut ainsi être considéré comme le procédé de traitement de l'eau le plus approprié aux pays en développement. La construction du filtre utilise en grande partie les compétences et les matériaux locaux. La construction, l'exploitation et la maintenance du filtre sont simples et ne nécessitent que de faibles compétences professionnelles. Le FLS ne nécessite aucune partie mécanique ou utilisation de produits chimiques. Si l'eau brute alimentant le FLS ne contient pas plus de 5000 à 10000 E. coli/100 ml, alors la qualité de l'eau traitée est bonne étant donné qu'elle est pratiquement exempte d'organismes pathogènes.

Le processus de purification du FLS est principalement localisé au sommet du lit de sable. Lors de la mise en service de l'installation, un film biologique actif, dont les performances du filtre dépendent énormément, atteint sa pleine efficacité après une période de développement de 2 à 4 semaines. Ultérieurement, suite aux lavages du filtre, une période de quelques jours à une semaine devrait être suffisante pour permettre le redéveloppement de ce film biologique.

La perte de charge du filtre augmente suite à l'accumulation des matières organiques et à la croissance du film biologique. Le filtre doit être lavé lorsque sa perte de charge atteint le maximum admissible d'approximativement 1 mètre. Le lit filtrant est alors vidangé et quelques centimètres de sable sont retirés du sommet du filtre.

Un filtre lent à sable devrait fonctionner au moins 1 à 2 mois entre deux lavages consécutifs pour assurer une exploitation économique et raisonnable. Des concentrations élevées en matières en suspension dans l'eau brute colmatent rapidement le filtre et perturbent le développement du film biologique. Le choix d'un FLS est sujet à discussion si les périodes de fonctionnement doivent être réduites à quelques jours ou à une semaine seulement.

De plus amples informations au sujet du filtre lent à sable peuvent être trouvées dans le manuel de conception et de construction publié par l'IRC, La Haye, Pays-Bas (1).

Des expériences pratiques avec le FLS dans les pays en développement montrent que de nombreuses installations ont fréquemment des problèmes de fonctionnement ou sont hors-service. Une des raisons principales à la base de cette situation est la mauvaise qualité de l'eau brute alimentant ces filtres. Les FLS sont très sensibles aux concentrations élevées en matières en suspension qui colmatent très rapidement le filtre. Les FLS ne fonctionnent donc correctement qu'avec de l'eau brute ayant une faible turbidité (inférieure à 10 NTU). La filtration d'eaux brutes plus turbides augmentent rapidement la perte de charge du filtre. Les conséquences en sont des vitesses de filtration plus lentes et des lavages plus fréquents.

Sous les tropiques, durant tout ou partie de l'année, la plupart des eaux de surface ont une turbidité plus élevée que celle préconisée pour le FLS. Il est alors généralement nécessaire, dans le but de garantir un bon fonctionnement du FLS, de prétraiter l'eau brute afin de réduire sa turbidité ou, plus explicitement, de réduire la quantité de matières en suspension responsable, en grande partie, de la turbidité de l'eau.

Prétraitement conventionnel

On sépare généralement les matières solides contenues dans l'eau dans des **bassins de décantation**, parfois à l'aide de **floculants**, ou sinon, dans des **filtres rapides à sable**. Les bassins de décantation conventionnels sont capables de séparer des solides dont la taille est supérieure à 20 μm , environ. Ainsi, les matières fines, qui peuvent représenter une part importante des matières solides présentes dans une eau de rivière, ne seront que partiellement retirées dans un bassin de décantation et peuvent provoquer un colmatage prématuré du FLS.

En conséquence, les sévères normes requises pour le fonctionnement du FLS ne seront que difficilement atteintes par une simple décantation. La vitesse de sédimentation des matières fines peut être augmentée en ajoutant des produits chimiques (tels que du sulfate d'aluminium ou du chlorure ferrique) dans le bassin de décantation. Ces sels déstabilisent les matières en suspension, notamment les particules fines qui peuvent s'agglomérer pour former des floes. Toutefois, la floculation est une technique de traitement très élaborée qui nécessite un personnel hautement qualifié et des installations bien équipées; tous deux difficiles à obtenir dans les zones rurales. Une application fiable et efficace de ce procédé est assez incertaine dans les petits réseaux d'alimentation en eau potable à cause des importantes difficultés rencontrées lors de l'approvisionnement en produits chimiques, du dosage correct des flocculants et des aide-flocculants et de l'absence de personnel qualifié pour exploiter l'installation. Enfin, des filtres rapides à sable sont souvent utilisés pour séparer les matières solides de l'eau. Les filtres conventionnels doivent être fréquemment lavés par un système à contre-courant qui nécessite des installations mécaniques compliquées. Le niveau technologique des filtres rapides à sable est élevé par rapport au procédé relativement simple du filtre lent à sable. Un filtre rapide à sable n'est donc généralement pas combiné avec un FLS. En conclusion, on peut dire que les procédés conventionnels de prétraitement pour la séparation des matières fines de l'eau sont soit insuffisamment efficaces, soit trop sophistiqués pour des installations rurales et de petites agglomérations.

Autre solution de prétraitement : le PFH

Etant donné que les couches de sable et de graviers des nappes aquifères améliorent de manière significative la qualité des eaux de surface infiltrées, pourquoi ignorer un procédé aussi bon, simplement parce que la nature n'a pas fourni les conditions hydrogéologiques requises à l'endroit voulu ? Une nappe aquifère artificielle peut agir dans le même sens et produire une eau potable parfaitement hygiénique.

La préfiltration à flux horizontal copie la nature. Les caractéristiques principales du procédé sont la direction horizontale du flux et la variation granulométrique du matériau filtrant utilisé. Cette caractéristique de flux horizontal permet de construire une structure filtrante simple, étroite et de n'importe quelle longueur. Trois à quatre compartiments successifs, remplis de graviers de granulométrie décroissante, permettent une séparation graduelle des matières solides contenues dans l'eau. Le premier compartiment du filtre contient un matériau filtrant grossier qui retient toutes les grandes particules et une partie des matières fines, alors que les derniers compartiments du filtre, contenant du matériau filtrant plus fin, se chargent de retirer le reste des particules fines. Etant donné que l'effluent d'un PFH ne contient pratiquement pas de matières en suspension, les normes requises pour le FLS sont facilement atteintes.

Le principe du PFH est très similaire à celui du FLS. En effet les deux procédés font appel à des processus naturels de purification, aucun produit chimique n'étant nécessaire pour assister le procédé de traitement. L'installation de ces filtres ne requière que des ressources locales telles que des matériaux de construction et de la main d'oeuvre. En outre, le fonctionnement et le lavage des filtres ne nécessitent aucune partie mécanique. Une installation combinée, bien conçue, fonctionnera plusieurs mois entre deux lavages successifs. Alors, pourquoi ne pas **utiliser un PFH en liaison avec un FLS ?** Utilisé comme procédé de prétraitement, le PFH agit principalement comme un filtre physique et retient les matières solides. Utilisé comme procédé principal de traitement, le FLS agit comme un filtre biologique et améliore sensiblement la qualité bactériologique de l'eau. L'eau ainsi traitée a une qualité similaire à celle d'une bonne eau souterraine et peut être consommée sans danger. Donc, copions la nature là où aucune nappe aquifère appropriée n'est disponible pour produire une eau potable sûre et fiable.

Fondement historique du PFH

Au siècle dernier déjà, des filtres de graviers ont été utilisés en Angleterre et en France pour prétraiter l'eau brute avant un FLS. Durant les 25 dernières années, des préfiltres de graviers ont été utilisés en combinaison avec des lits de sable pour des recharges artificielles de nappes souterraines en Allemagne, en Suisse et en Autriche (2). Plus récemment, des recherches sur des préfiltres formés de matériaux grossiers ont été faites à l'Institut Asiatique de Technologie de Bangkok/Thaïlande (3,4) et à l'Université de Dar es Salaam/Tanzanie (5,6) pour examiner l'efficacité de traitement de ces filtres sur des eaux très turbides. Le Centre International de Référence pour la Gestion des Déchets (IRCWD), rattaché à l'Institut Fédéral pour l'Aménagement, l'Épuration et la Protection des Eaux (EAWAG) à Dübendorf/Suisse, a commencé, il y a 5 ans, d'importantes recherches de laboratoire sur le PFH (7). Un projet de démonstration, financé par la Coopération Suisse au Développement, est en cours d'élaboration. Son objectif est d'introduire la technologie du PFH dans différents pays en développement et de recueillir des données pratiques supplémentaires sur ce procédé.

Résumé :

- les eaux souterraines et de source devraient être utilisées où cela est possible. Les eaux de surface sont souvent de piètre qualité
- le FLS fait appel principalement aux ressources locales et est ainsi indépendant d'équipements importés tels que des produits chimiques, des éléments mécaniques, etc
- le FLS est capable de produire une eau hygiéniquement sûre
- étant donné que le FLS est très sensible aux matières solides présentes dans l'eau, un prétraitement est dans la plupart des cas nécessaire
- les procédés conventionnels de prétraitement (bassins de décantation, floculation, filtre rapide à sable) ne sont pas suffisamment efficaces ou, souvent, ne fonctionnent pas correctement
- le PFH utilise le potentiel de purification de la nature et est au même niveau technique que le FLS
- le PFH et le FLS se complètent réciproquement et leur application est une option très valable et fiable

comment concevoir un PFH ?

2. PRINCIPALES CARACTERISTIQUES ET CONCEPTION D'UN PFH

La fig. 3 illustre le schéma de conception d'un PFH. Le préfiltre est divisé en trois parties : **la structure d'entrée**, **le lit filtrant** et **la structure de sortie**. Les structures d'entrée et de sortie sont des installations de contrôle du débit permettant de maintenir un certain niveau d'eau et de débit le long du préfiltre et de garantir une répartition uniforme du débit sur toute sa largeur. Le lit filtrant, formé de 3 ou 4 compartiments remplis de graviers de différentes tailles, constitue la partie principale d'un PFH.

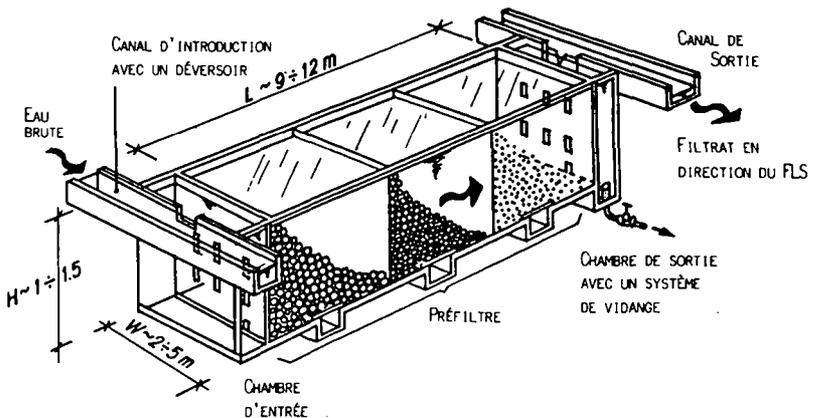
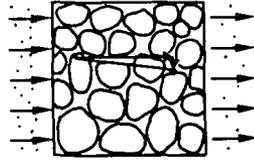


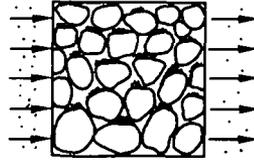
Fig. 3 Caractéristiques principales d'un préfiltre à flux horizontal (PFH)

L'eau brute passe par un déversoir et tombe dans une chambre d'entrée où les matières solides décantent et où les flottants sont retenus par une paroi plongeante. L'eau passe ensuite à travers une paroi perforée et coule horizontalement à travers les compartiments successifs remplis de matériaux grossiers, moyens et fins. L'eau ainsi prétraitée est récoltée à l'extrémité du préfiltre dans la chambre de sortie, d'où elle est évacuée en direction du FLS par un déversoir pour la mesure du débit.

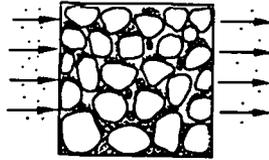
Dans un PFH, le processus principal permettant la séparation des matières solides de l'eau est la **décantation**, comme cela a été observé lors des tests de laboratoire effectués à l'EAWAG (2,7). Le préfiltre se comporte comme un décanteur à plaques multiples, offrant ainsi un important volume pour l'accumulation des matières solides. Celles-ci s'accumulent avec le temps sur les matériaux filtrants en agrégats ayant la forme de dôme. Lorsque ces agrégats deviennent instables, une partie du tas glisse au fond du préfiltre. Ce glissement régénère les possibilités de filtration des couches supérieures du préfiltre et permet l'accumulation d'une quantité considérable de matériaux retenus. La fig. 4 schématise les différents mécanismes de décantation rencontrés dans un PFH.



Le PFH fonctionne comme un décanteur à plaques multiples



Accumulation de matières solides sur les matériaux filtrants



Glissement au fond du préfiltre des matières décantées

Fig. 4 Mécanismes rencontrés dans un PFH

En fonction des caractéristiques organiques de l'eau brute introduite dans le PFH, d'autres processus, tels qu'une oxydation biologique ou une adsorption des matières solides sur les surfaces visqueuses du préfiltre, peuvent également se produire.

Variables de dimensionnement

Lors du dimensionnement d'un PFH, l'objectif visé est la réduction de la concentration, généralement inconnue et donc estimée, des matières solides en suspension dans l'eau brute jusqu'à la norme fixée pour le FLS. Les caractéristiques de l'eau brute déterminent la conception et le fonctionnement du préfiltre, alors que le volume d'eau à traiter ne détermine que la section en travers du préfiltre.

Lors du dimensionnement d'un PFH, il faut tenir compte des **quatre critères de dimensionnement** suivants :

- 1) la qualité requise de l'effluent pour une qualité d'eau brute donnée exprimée par la différence entre les concentrations en matières en suspension à l'entrée et à la sortie du préfiltre, ΔC en mg/l
- 2) le débit journalier sortant Q , exprimé en m^3/jour
- 3) la période T_r de fonctionnement du préfiltre, exprimée en semaines
- 4) la perte de charge ΔH maximum admissible du préfiltre, exprimée en cm

Les **quatre variables de dimensionnement** suivantes déterminent les dimensions du PFH :

- 1) la vitesse de filtration v_f en m/h, soit la charge hydraulique en m^3/h divisée par la section en travers du préfiltre en m^2
- 2) les tailles d_{g_i} des matériaux filtrants, exprimées en mm
- 3) les longueurs respectives l_{f_i} de chaque compartiment filtrant, exprimées en m
- 4) la section en travers A du préfiltre, exprimée en m^2

Pour une concentration en matières en suspension constante dans l'eau brute, les critères et les variables de dimensionnement sont corrélés selon la matrice suivante :

variables critères	v_f	d_{g_i}	l_{f_i}	A
ΔC	x	x	x	
Q	x			x
T_r	x	x	x	
ΔH	x	x	x	

Tableau 1 Interdépendances entre les critères et les variables de dimensionnement

Caractéristiques de l'eau brute

La concentration des matières en suspension dans l'eau brute n'est généralement pas constante et est sujette à des fluctuations saisonnières. Des pics très importants peuvent être observés au début de la saison des pluies, suivis par des concentrations modérément élevées durant le reste de la saison humide. Par contre, pendant la saison sèche, les concentrations en matières en suspension peuvent être très faibles. De plus, la distribution granulométrique des particules et le comportement colloïdale des suspensions peuvent différer considérablement d'une saison à l'autre. Durant la saison humide, il faut s'attendre, d'une part, à rencontrer des particules plus grandes à cause des vitesses plus élevées des courants et, d'autre part, à une stabilité plus faible lors de concentrations élevées en matières en suspension à cause de la floculation provoquée par le mouvement Brownien. D'autres remarques sur le contrôle de la qualité de l'eau peuvent être trouvées dans le chapitre 5 et dans les annexes 2 et 8.

Aspects du dimensionnement

Un PFH doit être dimensionné pour les situations extrêmes, soit pour la concentration maximum de matières solides en suspension dans l'eau brute. Etant donné que l'efficacité du préfiltre décroît lorsque sa charge s (g/l), définie comme étant le poids sec (en g) des matières solides accumulées dans le préfiltre par unité de volume du préfiltre (en l), croît, les pics de concentration de l'eau brute doivent de préférence être traités dans un préfiltre récemment nettoyé. Le plan annuel d'exploitation du préfiltre doit donc tenir compte des fluctuations saisonnières de la qualité de l'eau brute. De plus amples détails concernant cet aspect sont donnés dans le chapitre 5.

Dans le but de garantir un dimensionnement économique du PFH, des concentrations modérément élevées en matières en suspension dans l'effluent peuvent être admises lors de situations extrêmes. En outre, la vitesse de filtration v_F peut normalement être augmentée si la concentration moyenne en matières en suspension de l'eau de la rivière est modérée ou faible. La section en travers du préfiltre peut être réduite si la vitesse de filtration est augmentée. Il peut alors se révéler nécessaire d'augmenter la longueur l_F du préfiltre. Les trois variables de dimensionnement v_F , A et l_F sont corrélées. Une optimisation économique du volume du préfiltre en faisant varier ces trois variables n'est possible que dans des limites étroites. La durée de rétention de l'eau dans le préfiltre est une des caractéristiques essentielles de son fonctionnement, étant admis que la sédimentation reste le processus principal caractérisant un PFH. Néanmoins, une réduction de la période T_F de fonctionnement du préfiltre ne diminue pas seulement la longueur l_F de préfiltre nécessaire mais aussi son volume. Ainsi, une optimisation économique du préfiltre est possible en faisant varier T_F et l_F .

Lors du choix de la dimension d_g du matériau filtrant, étant admis qu'un matériau grossier a une efficacité plus faible, on aurait tendance à opter pour un matériau fin. Toutefois, outre l'efficacité du préfiltre à séparer les matières solides en suspension, d'autres critères, tels que la perte de charge finale ΔH , la période de fonctionnement T_f du préfiltre et des aspects propres aux possibilités de nettoyage du préfiltre, doivent être considérés. En n'utilisant qu'un matériau fin pour le remplissage du préfiltre, il serait possible de pré-traiter suffisamment l'eau brute, mais avec les inconvénients suivants : perte de charge élevée, courtes périodes de fonctionnement et difficultés lors des lavages du préfiltre. Ces problèmes surviennent avec un matériau filtrant ayant une taille inférieure à 4 mm. Un préfiltre formé de plusieurs compartiments remplis de matériaux de granulométrie décroissante permet d'éviter ces problèmes.

Normes de dimensionnement

Le dimensionnement du PFH est principalement déterminé par la concentration et la distribution granulométrique des matières solides en suspension dans l'eau brute. Les **normes préliminaires de dimensionnement** proposées dans le tableau 2 ci-dessous pourraient être utilisées si d'autres informations ne sont pas disponibles ou, respectivement, servir de lignes directrices pour un avant-projet de dimensionnement.

Pour réduire la charge des matières solides sur le PFH, les particules grossières décantables sont, de préférence, séparées dans un petit bassin de décantation avant l'unité de préfiltre. Les valeurs du tableau 2 s'appliquent donc à une eau prédécantée (temps de rétention inférieur à 3 heures).

Ces normes préliminaires de dimensionnement sont fournies pour 3 concentrations différentes de matières en suspension dans l'eau prédécantée. Le tableau 2 propose d'utiliser un PFH formé de 4 matériaux filtrants de tailles différentes, soit des matériaux de taille moyenne de 20, 15, 10 et 5 mm. La longueur totale du préfiltre varie de 8 à 16 m, pour une eau ayant une forte turbidité et peut être réduite à 5 m, si la concentration en matières en suspension de l'eau brute est moyenne ou faible et que l'on diminue la vitesse de filtration.

Un **nomogramme** présenté à l'annexe 1 pourrait être utilisé pour une évaluation plus approfondie du dimensionnement ou pour le développement d'une installation individuelle de filtration. Ce nomogramme est basé sur des tests de filtration en laboratoire réalisés avec une suspension de kaolin (7). Les caractéristiques d'une eau brute de rivière ne coïncident pas obligatoirement avec celles de l'eau utilisée pour les tests. Des données supplémentaires et la procédure de dimensionnement sont expliquées dans l'annexe 1.

concentration maximum de matières en suspension dans l'eau prédécantée	C_o (mg/l)	> 300 élevée	300 - 100 moyenne	< 100 faible
vitesse de filtration	v_F (m/h)	0.5	0.75 - 1	1 - 1.5
longueur du préfiltre pour $d_g = 20$ mm 15 mm 10 mm 5 mm	l_i (m)	3 - 5 2 - 5 2 - 4 1 - 2	3 *) 2 - 4 2 - 3 1 - 2	3 *) 2 - 3 2 1
concentration maximum de matières en suspension dans l'effluent du PFH	C_e (mg/l)	5	2 - 3	2

*) cette fraction granulométrique peut éventuellement être omise

Tableau 2 Normes préliminaires de dimensionnement

Enfin, **un programme de calcul sur ordinateur** pour la modélisation dynamique d'un PFH est disponible à l'EAWAG. Ce programme détermine la réduction de rendement du préfiltre en fonction de sa charge. La fluctuation de la concentration en matières en suspension de l'eau brute peut ainsi être simulée et le dimensionnement ne dépend plus alors uniquement de la concentration maximum en matières en suspension. Pour améliorer le fonctionnement du préfiltre, l'évolution de la qualité, exprimée en fonction de la concentration en matières en suspension, de l'effluent du PFH peut être examinée pour différentes configurations de préfiltres. Toutefois des informations sur les caractéristiques de l'eau brute sont nécessaires pour en tirer le maximum de bénéfiques. L'EAWAG fournit, sur demande, des informations sur les données à introduire et des indications sur les conditions à satisfaire pour dimensionner un PFH par ordinateur.

Hauteur et largeur

Ni la hauteur H ni la largeur W ne dépendent des caractéristiques de l'eau brute. Ces paramètres ne sont influencés que par des critères de forme et d'exploitation. Les recommandations pour les différentes dimensions sont basées sur les considérations suivantes :

- bien que le rendement d'un PFH puisse être partiellement amélioré en le vidant régulièrement, les matériaux remplissant le préfiltre doivent être sortis et lavés manuellement pour enlever les boues visqueuses qui s'accumulent au fond du lit filtrant après une longue période de fonctionnement. Des murs latéraux d'une hauteur adéquate permettent donc de retirer et de remettre plus aisément les matériaux filtrants. En outre, une faible hauteur de ces murs permet de ne pas les armer et de réduire ainsi les coûts de construction. D'un autre côté, des structures trop petites nécessitent des surfaces de terrain importantes. La hauteur des murs latéraux devrait donc être comprise entre 1.0 et 1.5 m.

$$H_{\max} = 1.5 \text{ m}$$

$$H_{\text{recommandé}} = 1 - 1.5 \text{ m}$$

- la largeur W d'un PFH dépend de la capacité de traitement de l'installation. En principe, il faudrait prévoir au moins deux unités de PFH pour permettre de poursuivre le traitement pendant la maintenance d'une des unités. Pour des raisons hydrauliques et pour limiter les périodes d'interruption nécessitées par le nettoyage manuel des pré-filtres, la largeur maximum ne devrait pas excéder 5 m. De même, la largeur minimum ne devrait pas être inférieure à 1 m pour faciliter le nettoyage.

$$W_{\max} = 5 \text{ m}$$

$$W_{\text{recommandé}} = 1 - 4 \text{ m}$$

Contrôle du débit et de la perte de charge

Les conditions hydrauliques rencontrées dans un PFH dépendent de la charge hydraulique et de la hauteur d'eau sur le préfiltre. Elles sont contrôlées par des ouvrages tels que des déversoirs et des vannes. Ce contrôle permet de maintenir certaines conditions de débit et de détecter les fuites.

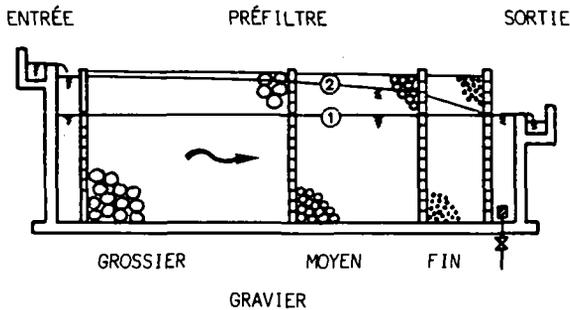
Un canal ou une chambre de distribution répartit le débit également entre les différentes unités de PFH. L'installation de contrôle la plus simple est un déversoir en forme de V. Le débit maximum admis sur l'installation de traitement peut être limité par un trop-plein situé dans le canal ou dans la chambre de distribution.

Le niveau de l'eau dans le PFH est influencé par le système de contrôle situé à la sortie du PFH. En général, le niveau de l'eau dans la chambre de sortie peut être fixe ou variable. L'option la plus simple est, ici aussi, l'installation

d'un déversoir ou d'un tuyau d'évacuation maintenant le niveau de l'eau à une hauteur fixée.

La résistance à l'écoulement du préfiltre augmente avec la durée de fonctionnement. Etant donné que l'eau coule lentement à travers les matériaux grossiers le remplissant, la perte de charge finale d'un PFH sera, normalement, comprise entre 10 et 20 cm, et ne devrait pas excéder 30 cm. Les variations de cette perte de charge se font sentir au niveau de la partie supérieure des matériaux filtrants. Ils devraient donc dépasser de 30 à 40 cm. le niveau du déversoir de sortie. La fig. 5 illustre la conception générale de cette option. De plus amples détails sur la mesure du débit sont donnés dans l'annexe 3.

Fig. 5 Principe d'un préfiltre à niveau d'eau constant (recommandé)

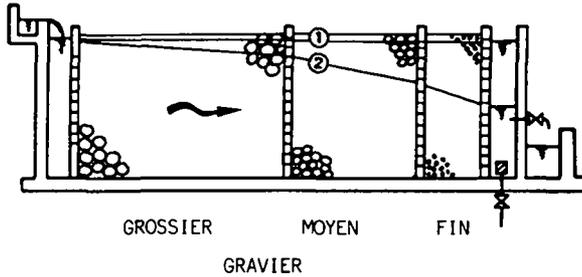


- ① niveau de l'eau dans un préfiltre propre (à sa mise en service)
- ② niveau de l'eau dans un préfiltre chargé (à la fin de son fonctionnement)

Un niveau variable de sortie du préfiltre est obtenu, soit par l'installation d'une vanne manoeuvrée manuellement, soit par un déversoir flottant à débit constant, soit par une installation à débit constant. La conception générale d'un préfiltre à niveau variable est illustrée par la fig. 6, et des détails sur des installations à débits aval constants sont fournis sur la fig. 7. La résistance à l'écoulement du préfiltre peut être compensée par un système à niveau variable qui autorise des pertes de charge plus élevées (8). Toutefois, bien que la perte de charge finale pour le modèle de PFH envisagé soit relativement faible, l'emploi d'un système à niveau variable et d'installations mécaniques de contrôle des débits n'est pas judicieux pour un PFH.

Des informations supplémentaires sur le dimensionnement et la conception d'un PFH peuvent être trouvées dans le chapitre 7. Un exemple illustre la procédure à suivre pour le dimensionnement d'un PFH.

Fig. 6 Principe d'un préfiltre à niveau variable (non recommandé)



- ① niveau de l'eau dans un préfiltre propre (à sa mise en service)
- ② niveau de l'eau dans un préfiltre chargé (à la fin de son fonctionnement)

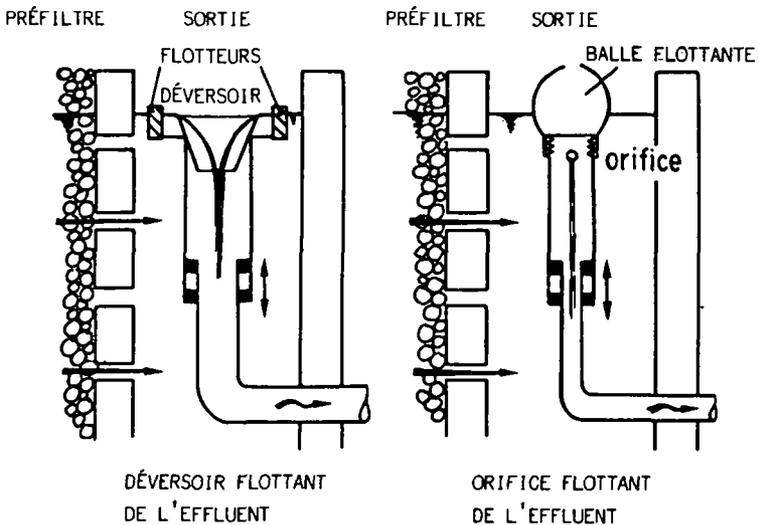


Fig. 7 Installations mécaniques à débit constant (1), (9)

Résumé :

- Un PFH est composé de deux structures, l'une d'entrée et l'autre de sortie, et d'un corps principal formé du lit filtrant rempli de 3 ou 4 fractions de matériaux de tailles différentes
- la décantation est le principal processus se déroulant dans un PFH
- la mise en oeuvre d'un PFH a pour objectif la séparation des matières solides de l'eau pour garantir un fonctionnement sûr d'un FLS
- 4 critères de dimensionnement (suppression des matières en suspension, débit journalier, durée de fonctionnement et perte de charge maximum) déterminent les valeurs de 4 variables de dimensionnement (vitesse de filtration, tailles des matériaux filtrants, longueur et section en travers du préfiltre)
- le PFH doit être dimensionné pour supporter les charges de pointe
- des normes préliminaires de dimensionnement, un nomogramme et un programme informatique sont disponibles pour dimensionner un PFH

où intégrer un PFH ?

3. CONCEPTION DES INSTALLATIONS DE TRAITEMENT DE L'EAU

Considérations générales

Les eaux de surface doivent être collectées, traitées et stockées avant d'être distribuées aux consommateurs. Différents procédés permettent d'effectuer chacune de ces tâches. Le tableau 3 donne une liste des différents procédés et des installations spécifiques à chacun.

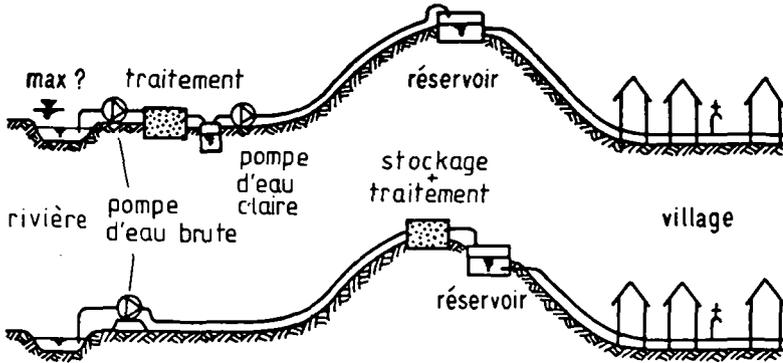
Procédé	Collecte	Prétraitement	Traitement principal	Stockage	
Installation	Prise d'eau	Dégrilleur	PFH	FLS	Réservoir
	Galerie d'infiltration		ou	FLS	Réservoir
Schéma des procédés	<p>Le schéma illustre la chaîne de traitement de l'eau. À gauche, une rivière est représentée. Une prise d'eau est située à l'entrée d'un canal. Le canal passe par un dégrilleur (sédiments), puis un préfiltre à flux horizontal (PFH) contenant des pierres. Ensuite, l'eau passe par un filtre lent à sable (FLS) et est finalement stockée dans un réservoir de pompage.</p>				

Tableau 3 Conception générale d'une chaîne de traitement

Sous certaines conditions locales spéciales, la collecte et le prétraitement de l'eau brute peuvent être combinés dans une seule installation telle qu'une galerie d'infiltration.

Toutes ces installations fonctionnent gravitairement, soit avec un plan d'eau libre. La perte de charge totale à travers les installations de traitement schématisées au tableau 3 sera de l'ordre de 2 à 3 m. Il est ainsi possible d'obtenir un **écoulement gravitaire** dans toute la chaîne de traitement et d'éviter l'emploi de pompes. En principe, toutes les installations d'élévation de l'eau, à l'exception des pompes à main, doivent être évitées pour ne pas dépendre d'équipements énergétiques et de pièces de rechange sophistiquées qui diminuent, dans la plupart des cas, la fiabilité du système. Si l'eau doit être pompée pour des raisons topographiques, une installation de pompage à un étage devrait être choisie pour pomper l'eau brute jusqu'à un site élevé où se situeront la station de traitement et le réservoir. Le choix d'une installation de pompage à un étage est plus avantageux que celui d'une installation à deux étages car la fiabilité du système est alors multipliée par un facteur 2. En outre, le risque d'inondation dans la plaine ne peut souvent pas être complètement évité. Il est plus facile de protéger de l'inondation une station de pompage que toute une station de traitement de l'eau. Ces deux systèmes de pompage sont illustrés par la fig. 8. Toutefois, l'installation d'un système de pompage à deux étages ne peut pas être évitée si le réseau se trouve dans une région dépourvue d'élévation naturelle.

réseau avec pompage à 2 étages
(pas recommandable)



réseau avec pompage à 1 étage
(recommandé, si faisable)

Fig. 8 Profils en long de réseaux d'alimentation en eau potable

Galerie ou tranchée d'infiltration

La collecte et le prétraitement peuvent être combinés dans une seule installation telle qu'une galerie d'infiltration ou une tranchée d'infiltration. Comme le montre la fig. 9, l'installation diffère au niveau de la rivière. La galerie est située sous le lit de la rivière, alors que la tranchée se trouve le long de la rive.

La construction d'une galerie d'infiltration pose quelques problèmes notamment avec les rivières en eau toute l'année. Le cours d'eau doit alors être temporairement dévié du site de construction où un fossé de 2 à 3 m. de profond est creusé. Différentes couches de graviers allant du plus grossiers au plus fins sont placées autour d'un tuyau de drainage et le reste du fossé est rempli de sable propre. Des matériaux plus grossiers sont éventuellement placés au fond du lit de la rivière pour éviter les risques d'érosion. Selon la littérature (1), une vitesse d'infiltration de 5 à 10 m/h est envisageable. Toutefois, des charges hydrauliques aussi élevées peuvent rapidement colmater le fossé d'infiltration, notamment si l'eau de la rivière est très boueuse. Selon la répartition des matériaux de filtration, par exemple si du sable fin se trouve du côté infiltration et des matériaux grossiers du côté drainage, le colmatage peut se produire encore plus rapidement. En outre, comme la plupart des galeries d'infiltration sont inaccessibles, les opérations de nettoyage et de maintenance sont difficilement possibles.

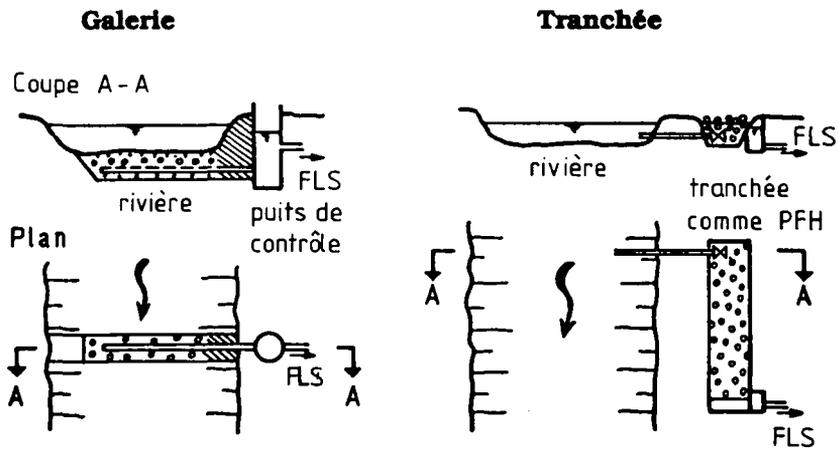


Fig. 9 Galerie et tranchée d'infiltration

La création de trous d'homme permettrait de nettoyer à grande eau les tuyaux de collecte mais pas de nettoyer correctement l'ensemble du filtre. Ces galeries ne sont donc pas recommandées pour des installations ordinaires et ne devraient être utilisées que dans des cas particuliers.

Les tranchées d'infiltration installées le long de la rive, ou perpendiculairement à celle-ci, posent moins de problèmes structuraux et opérationnels. La majeure partie des travaux de construction peuvent être effectués à sec. La tranchée creusée est remplie avec des matériaux filtrants et fonctionne selon les normes valables pour le PFH. Le niveau variable de l'eau entre la rivière et la tranchée pourrait être un inconvénient, encore que des vitesses de filtration plus lentes sont avantageuses lors des périodes de crue qui correspondent à des eaux très chargées. Lors des travaux de maintenance et de nettoyage, le flux d'eau entrant dans la tranchée d'infiltration doit être arrêté soit par une bûche étanche dans le cas d'une structure de prise d'eau dans la rivière, soit par une vanne si l'eau brute de la rivière est amenée dans la tranchée par un tuyau. Une régénération de l'efficacité du filtre par drainage de la tranchée filtrante nécessitera toutefois des installations et des équipements supplémentaires tels qu'un puits de drainage équipé d'une pompe à haut débit.

Enfin, de l'eau prétraitée peut également être soutirée d'une rivière si une petite unité de filtration du commerce est enterrée dans le lit de la rivière et l'eau pompée jusqu'à un FLS. Des expériences pratiques (10) avec de telles installations en ont révélé les inconvénients principaux. Le besoin d'une pompe relativement puissante et d'assez fréquents travaux de maintenance par lavage à contre-courant sont les principaux désavantages de ce système. L'utilisation de ces petites unités de filtration devrait être limitée à des circonstances exceptionnelles, telles que, par exemple, des installations de secours de distribution d'eau potable pour des camps de réfugiés.

Élimination des matériaux grossiers

Des matériaux flottants peuvent bloquer et endommager les installations de production d'eau potable. Ces matériaux indésirables sont donc retenus au tout début de la chaîne de traitement par des grilles ou par une paroi plongeante. Ce dernier système n'est utilisable que si le niveau d'alimentation en eau est constant. Des grilles, telles qu'illustrées sur la fig. 10, sont donc usuellement utilisées pour retenir les matériaux grossiers flottants. Le soutirage de l'eau sous la surface de celle-ci par une prise d'eau flottante constitue une autre possibilité.

Les eaux de surface courantes peuvent aussi transporter des **solides de différentes tailles**, allant du sable grossier, au limon et aux argiles fines. En choisissant judicieusement l'emplacement de la prise d'eau ou en installant

une digue pour modifier l'orientation du courant, telle que schématisée sur la fig. 11, les solides grossiers et fins sont dans une certaine mesure éliminés. Etant donné qu'une accumulation de limon au niveau de la prise d'eau altère son fonctionnement, celle-ci doit être située du côté érodé du coude de la rivière.

Fig. 10 Grilles

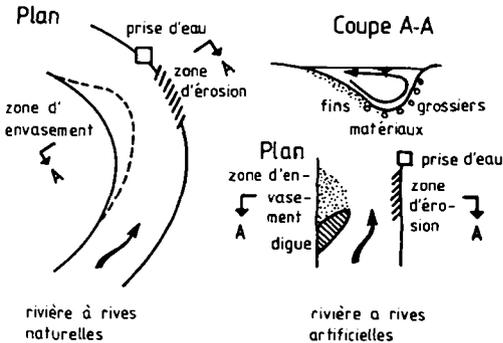
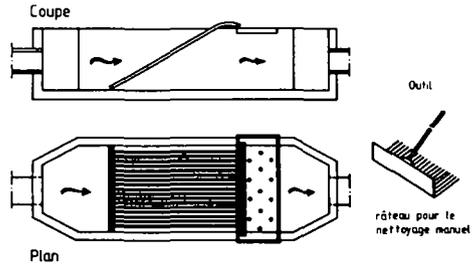
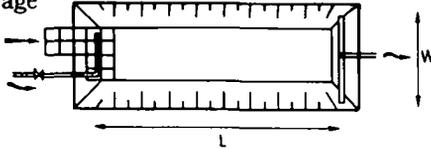


Fig. 11 Emplacement de la prise d'eau

La séparation des matériaux solides grossiers de l'eau est de préférence effectuée dans un **bassin de décantation à haute charge** car l'évacuation des boues d'un tel bassin pose moins de problèmes que dans un PFH. Les valeurs de dimensionnement indiquées dans la figure 12 sont valables pour la séparation de particules solides grossières plus grandes que $50 \mu\text{m}$ et $20 \mu\text{m}$ respectivement.

Un bassin de décantation devrait suffire pour un petit réseau d'alimentation en eau. Les boues accumulées peuvent être éliminées durant les périodes de faibles charges en limon. Un by-pass est nécessaire pour ne pas interrompre le fonctionnement de l'installation de traitement pendant les périodes de nettoyage. Deux bassins de décantation, ou plus, devraient être prévus pour de plus grands réseaux de distribution.

Bassin de décantation en terre

 ρ particules = 2.6accès plan
pour le
nettoyageséparation de particules > 50 μ m:
charge superficielle $s_0 = 6$ m/h
temps de séjour $T_d = 15$ min.séparation de particules > 20 μ m:
charge superficielle $s_0 = 0.6$ m/h
temps de séjour $T_d = 2.5$ h

Coupe

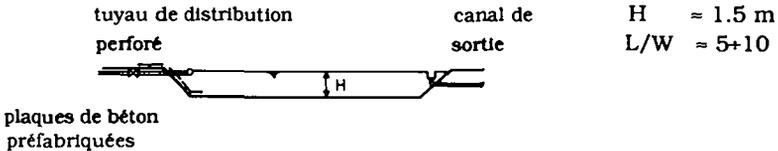
 $H = 1.5$ m
 $L/W = 5+10$

Fig. 12 Bassin de décantation simple

Aération

L'oxygène contenu dans l'eau joue un rôle important dans la biologie du FLS. L'activité de la biomasse aérobie décroît énormément si la concentration en oxygène descend en-dessous de 0.5 mg/l. Les principaux mécanismes agissant dans un PFH sont des processus physiques. Néanmoins, des réactions biochimiques peuvent également se produire dans un préfiltre, notamment avec des eaux ayant une charge organique élevée.

Les eaux de surface turbulentes contiennent généralement suffisamment d'oxygène. Des eaux stagnantes peuvent au contraire présenter des concentrations faibles en oxygène et nécessiter ainsi une aération.

La **cascade** constitue une installation d'aération simple mais efficace. L'installation d'une cascade d'aération submergée, telle que décrite dans la fig. 13, ne devrait être construite que si la gravité naturelle le permet. Elle devrait de préférence être placée avant le PFH pour tenir compte d'une éventuelle demande en oxygène du préfiltre.

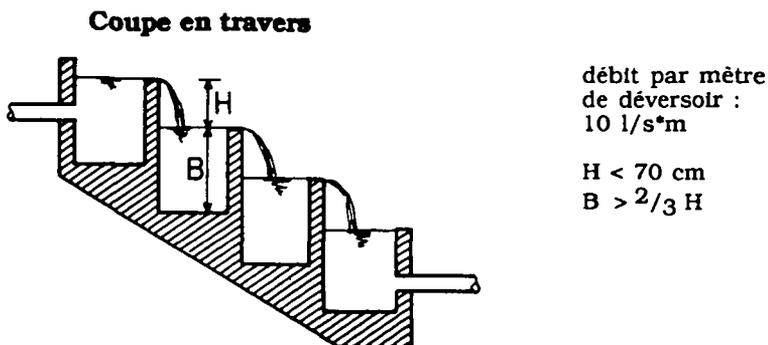


Fig. 13 Cascade

Les différents déversoirs utilisés pour le contrôle du préfiltre constituent d'autres sources d'oxygène.

Le PFH comme prétraitement

Le PFH retient les **particules solides fines** qui ne le sont pas par le bassin de décantation le précédent. L'effluent du PFH ne devrait pas contenir plus de 2 à 3 mg/l de matières filtrables pour satisfaire les exigences de qualité d'eau brute du FLS. Lorsque les exigences de qualité de l'effluent du PFH sont dépassées, le préfiltre doit être lavé pour lui rendre toute son efficacité.

Le PFH améliore généralement la qualité physique de l'eau par l'élimination des matières solides en suspension et par la réduction de la turbidité. De plus, on peut s'attendre également à une **amélioration bactériologique** de l'eau, étant donné que les bactéries et les virus sont aussi des solides dont la taille varie approximativement de 10 à 20 μm , respectivement de 0.4 à 0.02 μm . En outre, la littérature spécialisée indique que ces organismes sont fréquemment fixés à la surface d'autres solides rencontrés dans l'eau. Ainsi, une réduction de la quantité des solides signifie aussi une réduction du nombre d'agents pathogènes (microorganismes causant des maladies). L'efficacité du PFH à réduire la quantité de microorganismes pourrait théoriquement être du même ordre de grandeur que pour les matières solides en suspension, soit pour une concentration d'entrée de 100 mg/l, une réduction par le PFH à environ 1 mg/l. Dans cet exemple, le taux de réduction est donc de 99% ou de 2 unités logarithmiques. Les organismes pathogènes de plus grandes tailles (oeufs, vers) devraient être éliminés encore plus facilement. Toutefois, ces considérations théoriques doivent encore être vérifiées sur le terrain vu le peu d'informations pratiques disponibles à l'heure actuelle.

Le PFH est conçu pour être utilisé comme stade de prétraitement avant un FLS. Le FLS peut être omis si la pollution bactériologique de l'eau à traiter est nulle ou faible. Cela peut être le cas d'eau de surface drainant une région non habitée par l'homme, ou si la contamination de ces eaux par les déchets humains est prévenue par un assainissement contrôlé. Toutefois, des charges élevées, permanentes ou périodiques, de limon dans les eaux de surface pourraient nécessiter une amélioration physique de la qualité de l'eau. L'envasement des tuyaux et des réservoirs peut être la conséquence de quantités excessives de matières solides dans l'eau. Au vu de ces considérations techniques, le PFH peut être utilisé sans FLS si la qualité bactériologique de l'eau est acceptable, autrement dit si l'eau contient moins de 100 E. coli/100 ml.

Les contraintes opérationnelles militent pour l'installation d'au moins deux PFH par station de traitement de l'eau. Les travaux manuels de nettoyage et de maintenance nécessitent un certain temps pendant lequel le ou les PFH restants fonctionnent à des charges hydrauliques plus élevées. Une seule unité de PFH pourrait se justifier pour un petit réseau d'alimentation en eau traitant de l'eau ayant périodiquement une faible turbidité.

Le FLS pour le traitement principal

Le FLS est censé éliminer les impuretés les plus fines trouvées dans l'eau et est donc placé à la fin de la chaîne de traitement. Le filtre fonctionne comme un tamis, en effet les fines particules en suspension sont retenues au sommet du filtre dans les vides formés entre les grains de sable fin. Toutefois, l'action biologique du filtre est plus importante que celle de ce processus physique. La décomposition des matières organiques solides et dissoutes consomme de l'oxygène. La biologie du FLS transforme les matières organiques en produits inorganiques stables. Encore plus important du point de vue hygiénique est la **réduction substantielle par le FLS du nombre de bactéries et de virus**. Aussi bien l'oxydation des matières organiques que la réduction du nombre d'agents pathogènes sont réalisées par le film biologique situé au sommet du filtre, appelé "Schmutzdecke", et dans les 30-40 premiers cm. de la couche de sable. Un FLS produira de l'eau hygiéniquement sûre dès que ce film biologique sera complètement développé.

La nécessité de nettoyer le FLS, contrairement au cas du PFH, n'est pas déterminée par la baisse de qualité de l'effluent mais par l'augmentation de la perte de charge jusqu'à son maximum admissible. Cela présente l'avantage que la détermination d'un critère hydraulique est plus facile que celle d'un paramètre de qualité des eaux.

Des informations supplémentaires sur le FLS sont résumées dans l'annexe 5. Toutefois, les détails concernant le dimensionnement et la construction du FLS sont réunis dans un manuel spécial (1).

La désinfection de l'eau

Un FLS dont le film biologique est bien développé produit de l'eau potable hygiéniquement sûre. Tout traitement supplémentaire tel qu'une désinfection de l'eau n'est donc pas nécessaire. Sans parler de l'aspect qualité de l'eau, de nombreux exemples provenant de pays en développement montrent qu'une désinfection efficace est pratiquement impossible à réaliser dans les petits réseaux d'alimentation en eau. Les principaux problèmes rencontrés dans les pays en développement sont l'approvisionnement ininterrompu en produits chimiques essentiels et le dosage correct du désinfectant.

Si l'eau est désinfectée, il est alors possible de consommer l'eau produite par le FLS également durant la phase de mise en service. En outre, le chlore constitue une sécurité contre les organismes pathogènes introduits lors d'une contamination secondaire, soit dans le réseau de distribution, soit par les consommateurs eux-mêmes. Du chlorure de chaux ou une solution d'hypochlorite de sodium sont généralement utilisés comme désinfectant.

Une mesure plus judicieuse que la désinfection préventive de l'eau serait la production d'une eau de bonne qualité et la mise sur pied d'un programme général d'éducation de santé incluant un enseignement particulier sur les précautions à prendre lors du maniement de l'eau.

Le stockage de l'eau

Un FLS travaille soit à une vitesse de filtration constante 24 heures sur 24, soit à une vitesse de filtration plus lente durant la nuit. De petites unités de filtres et l'apport continu en nutriments et en oxygène au film biologique sont, en plus de l'aspect qualité de l'eau, les raisons principales pour lesquelles un FLS ne devrait pas fonctionner de manière intermittente. Le PFH est moins sensible aux variations de charge hydraulique, bien que des précautions devraient être prises lors du redémarrage de l'installation pour ne pas remettre en suspension les matières solides accumulées dans le préfiltre. Etant donné que la demande journalière en eau est plus ou moins concentrée sur deux pointes, un volume de stockage d'environ 30 à 50% de la capacité journalière de traitement est nécessaire pour compenser les fluctuations des besoins en eau.

La distribution de l'eau

Pour distribuer l'eau jusqu'aux consommateurs, l'installation d'un réseau gravitaire de distribution peut être envisagée si les conditions économiques et topographiques locales sont favorables. Toutefois, une augmentation de la demande en eau pouvant provoquer une surcharge de la station de traitement et de sérieux problèmes d'évacuation de l'eau dans les zones habitées peuvent être les conséquences d'un tel système de distribution de l'eau.

En fait, dans de nombreux cas, aussi bien les conditions économiques que topographiques ne permettent pas la réalisation d'un tel système gravitaire. Les différences d'altitude peuvent être surmontées par des installations de pompage. Cependant, l'installation de pompes augmente les investissements et les coûts de fonctionnement et nécessite, notamment, de l'énergie, aspect dont l'importance deviendra primordiale dans le futur. L'installation de pompes sur les réseaux de distribution d'eau devrait donc être limitée à des situations spéciales.

La distance de marche entre la maison et le point d'eau est plus importante pour le consommateur d'eau que sa qualité. Un nouveau point d'eau doit donc être compétitif et amener l'eau plus près des utilisateurs que la source traditionnelle. L'installation d'un nouveau point d'eau, dont l'eau traitée, provient de la rivière, ne sera acceptée que si la distance de marche originale jusqu'à la rivière est significativement réduite.

Un réseau partiel de distribution équipé de pompes à main constitue un choix judicieux et la meilleure combinaison des différents aspects discutés. L'eau traitée peut être distribuée par gravité jusqu'à des citernes placées entre la station de traitement et le village. Ces citernes ne fonctionneront pas seulement comme réservoirs mais également comme points d'eau. L'énergie fournie par les consommateurs utilisant les pompes à main permet le fonctionnement du système et contribue considérablement à la réduction des coûts de fonctionnement.

La fig. 14 montre une des possibilités pour la conception d'une station de traitement de l'eau indépendante de tout produit chimique étranger et d'apport en énergie.

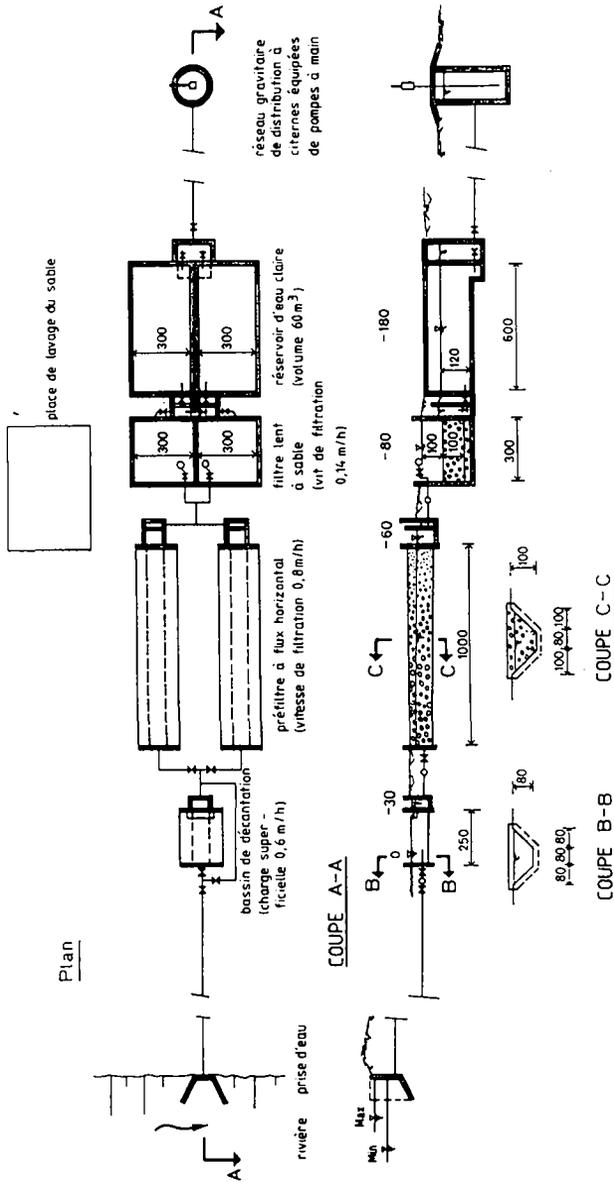


Fig. 14 Conception d'une station de traitement de l'eau de 60 m³/jour (2000 personnes à 30 l/habitant*jour)

Résumé :

- dimensionnez votre installation de traitement pour un écoulement gravitaire
- évitez si possible toute installation de pompage
- si une installation de pompage est inévitable, installez un réseau partiel de distribution équipé de pompes à main ou, tout au plus, une installation de pompage à un étage et un réseau de distribution
- des tranchées excavées le long de la rive sont plus adéquates que des galeries d'infiltration pour infiltrer l'eau des rivières
- les matériaux grossiers sont séparés par des grilles, des parois plongeantes et des bassins de décantation à haute charge
- des cascades devraient être placées avant les filtres pour aérer l'eau, notamment les eaux de surface stagnantes
- le PFH est un filtre physique dont l'action principale est la séparation des matières solides de l'eau
- le FLS est un filtre biologique qui réduit les quantités de bactéries, de virus et de matières organiques

comment construire un PFH ?

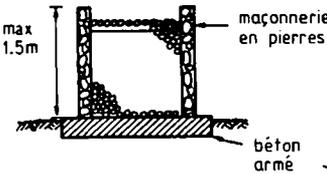
4. CONSTRUCTION D'UN PFH

En principe, les matériaux et la main d'oeuvre locaux, ainsi que la participation des communautés devraient, si possible, être utilisés lors de la construction de tout installation d'alimentation en eau. Les installations devraient être simples, robustes et bien construites et leur maintenance doit être possible avec les moyens locaux. Leur conception devrait faciliter à la fois l'exploitation et la maintenance.

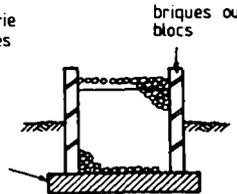
Emplacement de l'installation de filtration

Le PFH peut généralement être enterré ou construit à même le sol comme le montre la fig. 15. Le choix d'un type de PFH dépend du profil hydraulique, des caractéristiques du sol et des matériaux de construction disponibles. Dans une région plate, l'écoulement gravitaire impose souvent l'enterrement des structures. Un PFH partiellement enterré présente les avantages suivants: il nécessite moins de travaux d'excavation, le sol remis en place procure un support aux murs latéraux, la protection contre la poussière et le sable est meilleure.

PFH dont les murs latéraux sont à même le sol



PFH dont les murs latéraux sont partiellement enterrés



PFH complètement enterré

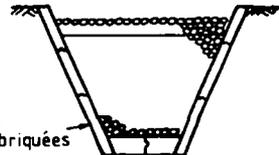


Fig. 15 Matériaux de construction et emplacement d'un PFH

Matériaux de construction du bassin de filtration

Le bassin le plus simple consiste en une tranchée creusée dans un sol imperméable tel que de l'argile, du limon ou de la latérite. L'inclinaison des parois latérales du fossé ne doit pas excéder celle d'une pente stable d'un sol saturé en eau (pente d'environ 1:1).

Le revêtement des murs latéraux et du fond d'un tel bassin permet d'éviter le mélange des matériaux filtrants propres avec ceux du sol. Le type de revêtement dépend du degré d'imperméabilité et de stabilité du sol, paramètres à déterminer pendant la phase de conception. Une couche de sable, des éléments préfabriqués, des couches appliquées sur place (revêtement en béton, béton armé, mortier de chaux) ou, en cas d'urgence (par exemple pour un camp de réfugiés), des feuilles de plastique préfabriquées peuvent être utilisés comme matériaux de revêtement. Un bassin étanche doit être construit si le sous-sol est perméable ou si le préfiltre est construit à même le sol. Dans ces cas, des murs latéraux verticaux sont recommandés. Ils seront construits avec des briques d'argile cuites revêtues d'un ciment de mortier, des briques de béton ou du béton armé.

Dans le but d'éviter une fissuration du bassin due à des tassements différentiels du sol, une attention particulière sera apportée à la construction des fondations et du fond du bassin. Enfin, des joints de dilatation seront éventuellement nécessaires pour de grands bassins de filtration construits avec des matériaux sujet aux retraits. Une autre solution consiste à diviser le PFH en deux bassins interconnectés. La conception d'un filtre en forme de U permet également de réduire sa longueur totale. Les installations d'amenée et de sortie de l'eau sont alors du même côté du préfiltre et le bassin de filtration est divisé en deux parties égales par un mur de séparation longitudinal.

L'étanchéité du bassin de filtration devrait être testée, de préférence avant de le remplir avec les matériaux filtrants. Les fuites sont en effet plus faciles à détecter et à réparer si le bassin est vide.

Matériaux filtrants

Les matériaux filtrants devraient avoir une grande surface spécifique pour favoriser le processus de décantation se produisant dans le PFH. En outre, ils devraient avoir un indice des vides élevé pour permettre l'accumulation des matières solides. En général, tous les matériaux inertes, propres, insolubles et résistants du point de vue mécanique, satisfaisant complètement les deux critères ci-dessus, peuvent être utilisés comme matériaux filtrants. Des tests de filtration ont montré que ni la rugosité ni la forme ou la structure des matériaux filtrants n'ont une influence appréciable sur l'efficacité du préfiltre.

Les matériaux filtrants suivants peuvent, par exemple, être utilisés:

- des **graviers** provenant du lit d'une rivière ou trouvés dans le sol
- des **morceaux de pierres ou de rochers** provenant d'une carrière
- des **morceaux de briques** d'argile cuites cassées
- des **matières plastiques** telles que des chips ou des modules, par exemple ceux utilisés dans les lits bactériens (il n'est pas tenu compte ici de l'indépendance que procure l'utilisation de matériaux locaux; une attention particulière doit être apportée aux problèmes que peut créer la force d'Archimède de l'eau)
- éventuellement du **charbon de bois consommé** (risque de désintégration lors du lavage du matériau)
- éventuellement des **fibres de noix de coco** (risque de dégagement d'odeurs lors de périodes prolongées de fonctionnement du préfiltre)

Un PFH est formé de 3 à 4 fractions de matériau filtrant de différentes tailles, de grossières à fines. Les matières en suspension grossières et la majorité des plus fines sont retenues dans le premier compartiment de filtration. On devrait donc avoir un important volume de vides dans cette partie du préfiltre. La meilleure façon d'obtenir ce résultat consiste à remplir une part importante de la longueur totale du préfiltre avec des matériaux grossiers. Les compartiments suivants seront alors plus courts et remplis de matériaux plus fins. Le dernier compartiment du préfiltre n'a, en principe, qu'une fonction de polissage. Il est supposé enlever les dernières traces des plus fines particules en suspension se trouvant dans l'eau.

Quelques **recommandations générales** sur la taille des matériaux filtrants et la longueur des compartiments respectifs de filtration figurent dans le tableau 4. Ces recommandations ne doivent pas être appliquées de manière trop rigide. Cependant, la taille moyenne des agrégats ne devrait pas être inférieure à 4 mm, pour permettre la régénération du préfiltre telle que décrite au chapitre 5.

L'Institut Asiatique de Technologie (AIT) à Bangkok a également effectué des recherches sur le PFH. Les auteurs de (3,4) recommandent l'installation de 6-8 petits compartiments de graviers. La taille des graviers devrait être successivement réduite de 20 à 2,5 mm, puis de nouveau augmentée jusqu'à 25 mm. L'emplacement de la fraction de gravier la plus fine au centre du préfiltre ne procure aucun avantage étant donné que les compartiments suivants n'ont, par nature, qu'un rendement réduit sur l'élimination des matières en suspension.

Lors du choix de la taille des matériaux, les aspects pratiques tels que les possibilités d'approvisionnement dans une carrière sont aussi un critère important. La fig. 16 montre deux installations simples de tamisage à construire sur place si aucun matériau de différente granulométrie n'est disponible.

compartiment de filtration	taille approximative des matériaux filtrants	longueur approximative des compartiments de filtration
premier *)	15 - 25 mm	3 - 5 m
deuxième	10 - 20 mm	2 - 5 m
troisième	5 - 15 mm	2 - 4 m
quatrième	3 - 8 mm	1 - 3 m

*) peut éventuellement être omis

Tableau 4 Longueur des compartiments de filtration et taille des matériaux filtrants

Les agrégats devraient être consciencieusement lavés pour éviter de remplir le PFH avec des matériaux sales ou mous. Si cette recommandation n'est pas suivie, l'effluent du PFH à sa mise en service sera de mauvaise qualité et provoquera un colmatage rapide du FLS.

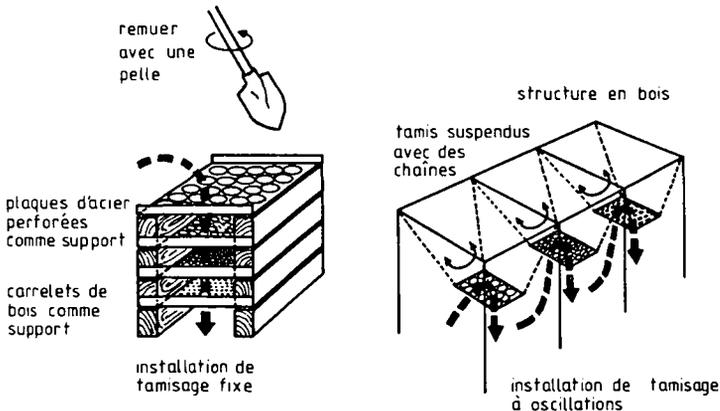


Fig.16 Installations de tamisage à construire sur place

Murs de séparation

Les différentes fractions granulométriques devraient être, dans le PFH, séparées les unes des autres pour éviter de mélanger les agrégats durant les opérations manuelles de lavage. Des murs de briques cuites ou de blocs de ciment à joints verticaux ouverts constituent la meilleure solution pour réaliser cette séparation. La surface totale des joints de ces murs de séparation devrait, idéalement, représenter de 10 à 20% de la section en travers du préfiltre, et être uniformément répartie sur toute la section du mur afin de garantir un écoulement régulier à travers le PFH. L'utilisation de briques ou de blocs perforés préfabriqués (avec, par exemple, des trous de $\varnothing 3$ cm, espacés de 5×5 cm.) ou des galets peu compacts constitue une alternative au mur à joints verticaux ouverts. Enfin des planches de bois pourraient aussi être utilisées pour séparer les différentes fractions granulométriques. Dans le cas où la structure du mur de séparation est fragile ou tendre, les compartiments situés de part et d'autre du mur doivent être remplis simultanément avec les matériaux filtrants.

Structures d'entrée et de sortie

Les buts des structures d'entrée et de sortie sont multiples, soit, outre la distribution régulière de l'eau brute et le soutirage de l'eau traitée, la régulation du débit, le contrôle du niveau de l'eau, la séparation des matières grossières décantables et des flottants à l'entrée du préfiltre. La fig. 17 montre des exemples de structures d'entrée et de sortie.

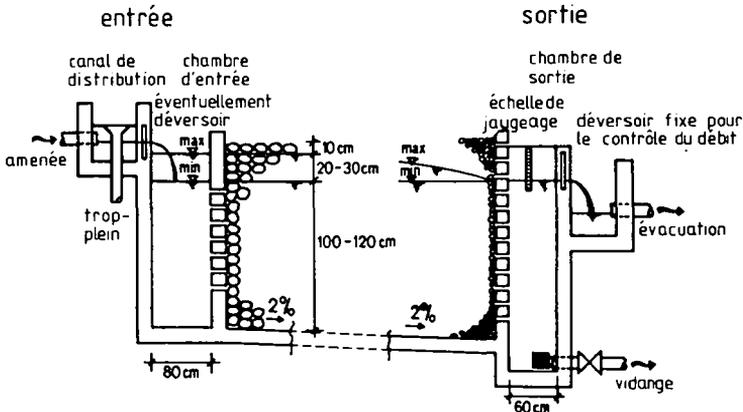


Fig. 17 Structures d'entrée et de sortie d'un PFH

Si des déversoirs, ayant des pertes de charge d'environ 30 cm, peuvent être installés dans le profil hydraulique de l'installation de traitement, les structures d'entrée et de sortie sont de préférence équipées de déversoirs en V pour le contrôle du débit. Le déversoir en V de la sortie peut être remplacé par un tuyau d'évacuation fixe dans les installations de traitement dont la perte de charge totale disponible est faible.

La distribution régulière de l'eau brute sur toute la section du préfiltre est assurée par la chambre d'entrée. Le mur de séparation entre cette chambre et le premier compartiment de filtration doit avoir des ouvertures dans sa partie médiane comme le montre la fig. 17. Un mur plein à la base, respectivement au sommet, empêche la pénétration des matières solides décantées et des flottants dans le préfiltre. La largeur minimum de la chambre d'entrée ne devrait pas être inférieure à 80 cm. pour faciliter son nettoyage.

Une chambre de sortie similaire est construite à la sortie du préfiltre. Toutefois, le mur de séparation situé après le dernier compartiment de filtration sera alors ajouré sur toute sa section.

Un déversoir ou un tuyau d'évacuation maintient le plan d'eau de la zone de sortie du préfiltre à un niveau déterminé. La baisse progressive du plan d'eau due à la perte de charge doit être contenue à l'intérieur du préfiltre. Pour cette raison et pour éviter la prolifération de moustiques, les matériaux de remplissage du préfiltre doivent dépasser d'environ 30 à 40 cm. le niveau du déversoir de sortie.

Système de vidange

Des installations de vidange, telles qu'illustrées par la fig. 18, sont nécessaires pour nettoyer et régénérer le préfiltre (voir le chapitre 5). Pour le **lavage manuel** des matériaux filtrants, un drain, placé dans la chambre de sortie, permet de vider complètement les compartiments du préfiltre. Le fond du préfiltre doit donc être légèrement incliné de 1 à 2% dans la direction de l'écoulement. Un effet secondaire de cette pente est l'économie d'un peu de matériaux filtrants.

Le **lavage hydraulique** consiste en une vidange rapide du préfiltre, puis à son lent remplissage avec de l'eau. Des installations de vidange telles que des tuyaux perforés, des gouttières ou des caniveaux permettent le lavage hydraulique des matériaux filtrants. L'installation est placée au fond du préfiltre, perpendiculairement à l'écoulement de l'eau. L'espacement entre les drains devrait être d'environ 1-2 m. La capacité hydraulique des drains devrait permettre une vitesse initiale, verticale, de drainage du préfiltre de 60-90 m/h. Cette vitesse est nécessaire pour effectuer un lavage efficace. Le fonctionnement de l'installation de drainage peut être contrôlé par des vannes, des

plaques coulissantes ou des tuyaux flexibles. Chaque drain devrait se déverser dans un canal ouvert pour permettre un contrôle visuel des opérations de vidange. Des installations permettant une élimination sûre des eaux de lavage sont nécessaires pour éviter des phénomènes d'érosion ou l'accumulation d'eau stagnante.

coupe longitudinale du PFH

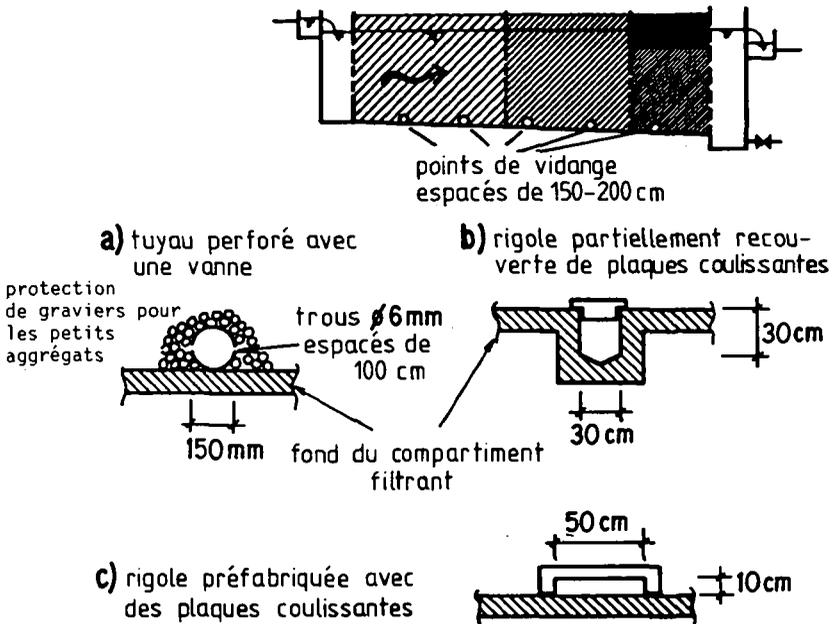


Fig. 18 Systèmes de vidange

Résumé :

- **construisez autant que possible votre système d'alimentation en eau avec de la main d'oeuvre et des matériaux locaux**
- **n'importe quel matériau inerte peut être utilisé comme matériau filtrant**
- **il faut utiliser au moins 3 à 4 fractions granulométriques de matériau filtrant dont la taille décroît de 25 mm, environ, à 4mm.**
- **évités d'utiliser des matériaux filtrants plus petits que 4 mm, car ils empêchent la régénération par vidange du préfiltre**
- **n'utilisez que des matériaux filtrants consciencieusement lavés**
- **des déversoirs en V sont nécessaires pour le contrôle du débit. Placez au moins un déversoir à l'entrée du PFH**
- **incluez des installations de vidange permettant le lavage manuel et la régénération du préfiltre.**

comment exploiter et entretenir un PFH ?

5. EXPLOITATION ET MAINTENANCE D'UN PFH

L'exploitation et la maintenance d'un PFH peut facilement être effectuée par des exploitants locaux formés à cet effet. Ils ne dépendent pas de l'apport de produits extérieurs si les matériaux et les outils nécessaires sont disponibles. L'exploitant est, de préférence, soutenu dans ces activités quotidiennes par des visites occasionnelles du superviseur rattaché à la section exploitation et maintenance de l'institution gouvernementale responsable des systèmes d'alimentation en eau. Les travaux importants de maintenance devraient être exécutés lorsque la participation de l'ensemble du village est possible. C'est particulièrement important lors du lavage manuel du PFH.

Mise en service du préfiltre

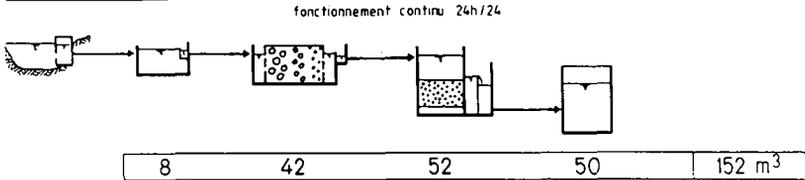
Le préfiltre ne devrait être mis en service que lorsque tous les travaux de construction sont terminés. Le rendement d'un PFH rempli seulement partiellement de graviers sera faible car l'installation ne fonctionnera pas comme un filtre, mais comme un mauvais bassin de décantation. L'accent devrait donc être mis sur une bonne finition des travaux de construction, incluant l'installation d'équipements adéquats de contrôle du débit et de vidange et l'acheminement de tous les matériaux filtrants nécessaires. Avant de mettre en service le préfiltre, il est recommandé de vidanger le préfiltre pour laver les matériaux filtrants installés. Pour cela, le préfiltre devrait être lentement rempli avec de l'eau jusqu'au niveau du déversoir de sortie. La vitesse de remplissage devrait être comprise entre 0.5 et 1 m/h. Ensuite, il faut vider le préfiltre de son eau avec la première installation de vidange située du côté de la chambre d'entrée. Toute la poussière se trouvant à la surface des matériaux filtrants est alors rincée. Les impuretés accumulées autour du système de drainage seront évacuées hors du préfiltre. Cette procédure doit être répétée, si nécessaire, 2 à 3 fois en déplaçant le point de vidange de l'entrée du préfiltre jusqu'à sa sortie. Ce lavage du préfiltre évitera que de la poussière pénètre dans le compartiment rempli de gravier fin ce qui accroîtrait sa résistance initiale. Un effet secondaire positif de cette procédure de lavage est le contrôle du fonctionnement correct de tout le système de vidange.

Diagramme d'écoulement

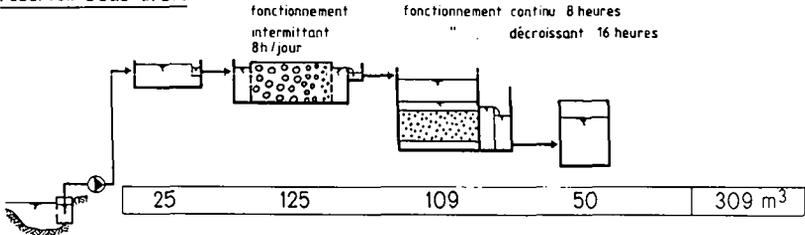
Un fonctionnement continu, 24 heures sur 24, du préfiltre constitue la meilleure façon d'exploiter l'installation tout en fournissant une production maximum et un débit constant. Toutefois, cette situation idéale ne peut être satisfaite que par un écoulement totalement gravitaire.

bassin de déc Rés. (brute)	PFH	FLS	Rés. (claire)	Volume totale
-------------------------------	-----	-----	------------------	------------------

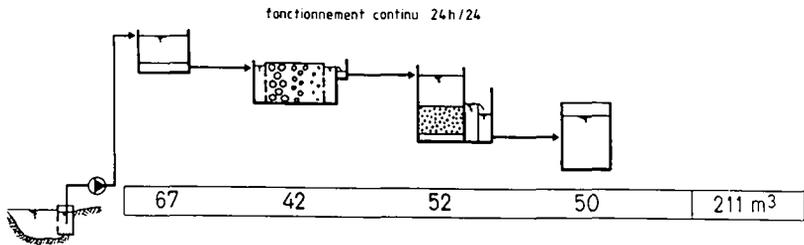
Système gravitaire



Système pompé sans réservoir d'eau brute



Système pompé avec réservoir d'eau brute



hypothèses. bassin de décantation

$$T_d = 2 \text{ hrs}$$

PFH

$$v_F = 1 \text{ m/h}$$

$$L_{\text{tot}} = 10 \text{ m}$$

FLS

$$v_F = 0.2 \text{ m/h}$$

$$H_{\text{tot}} = 2.5 \text{ m}$$

Fig. 19 Diagramme d'écoulement et volumes nécessaires pour une installation traitant 100 m³/jour

S'il est nécessaire de pomper, le personnel peut se trouver sur l'installation de traitement pour 8 ou 16 heures, selon que 1 ou 2 équipes de travail sont disponibles. Pour des raisons de qualité de l'eau, il n'est pas recommandé de faire fonctionner le FLS de manière intermittente. Le FLS peut fonctionner à une vitesse de filtration décroissante sans affecter l'activité biologique durant la période de la journée où le PFH n'est pas exploité. Pratiquement, cela signifie que durant la nuit le stock d'eau surmargeante est filtré par l'installation à un débit décroissant continuellement. Durant la matinée, le filtre doit être à nouveau rempli avec de l'eau prétraitée pour reprendre son fonctionnement normal. Ces opérations nécessitent des provisions spéciales étant donné que l'eau doit être fournie durant le jour de manière intermittente et à des débits élevés.

Le PFH fonctionne comme un filtre physique et ne dépend donc pas comme le FLS d'un apport continu en éléments nutritifs. Ainsi, un fonctionnement intermittent du préfiltre est possible sans que l'on constate une détérioration marquée du filtrat, pourvu que l'on observe un redémarrage sans à-coup du fonctionnement du préfiltre. A cause du volume d'eau relativement faible stocké dans le PFH, il n'est pas raisonnable de le faire fonctionner à une vitesse de filtration décroissante dans le seul but de maintenir une vitesse de filtration constante sur le FLS. Dans un réseau équipé de pompes, l'option la plus favorable consiste à introduire l'eau brute dans un réservoir tampon permettant un fonctionnement continu du préfiltre. Les différentes conceptions envisageables pour une installation permettant de traiter 100 m³/jour sont illustrées par la fig. 19.

En conclusion, on peut dire que pour des raisons économiques et fonctionnelles, il est recommandé d'utiliser une installation PFH-FLS en fonctionnement continu 24 heures sur 24. Dans le cas d'un réseau équipé de pompes, un réservoir tampon d'eau brute est nécessaire. Le retrait des matières solides grossières constitue un effet secondaire positif d'un tel réservoir.

Contrôle du débit

Contrairement au FLS dont la vanne de contrôle de l'effluent doit être ouverte graduellement pour compenser la perte de charge progressive du filtre, le PFH est contrôlé hydrauliquement par une installation de contrôle du débit à l'entrée du préfiltre et par un déversoir fixe à sa sortie comme le montre et le recommande la fig. 5. Dans un réseau gravitaire, l'apport constant d'eau brute est garanti par une position plus ou moins constante de la vanne du tuyau d'amenée et par un trop-plein situé dans la chambre de distribution. Dans un réseau équipé de pompes et d'un réservoir d'eau brute, le débit entrant dans le PFH est contrôlé par une installation mécanique de régulation telle qu'illustrée sur la fig. 7. Ces deux principales possibilités sont illustrées par la fig. 20.

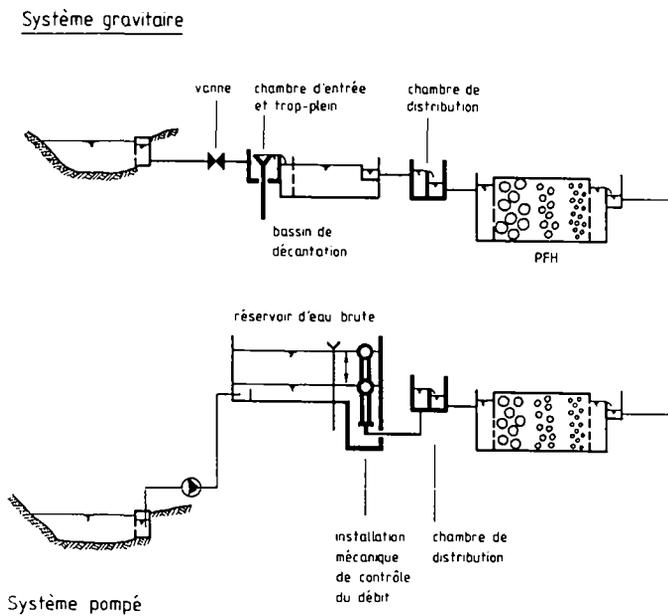


Fig. 20 Distribution et contrôle du débit d'eau brute

Le débit de sortie du préfiltre est mesuré soit par une installation fixe telle qu'un déversoir en V, soit à l'aide d'un équipement portable décrit dans l'annexe 3. Le débit traversant chaque PFH devrait être contrôlé chaque jour s'ils sont équipés de déversoirs en V, ou au moins deux fois par semaine si l'on a recouru à un équipement portable.

Contrôle de la qualité de l'eau

Le degré de contamination bactériologique est le critère de qualité le plus important pour l'eau potable. Toutefois, l'amélioration de la qualité bactériologique de l'eau dépend beaucoup de sa turbidité. La turbidité et la contamination bactériologique de l'eau sont donc les principaux paramètres permettant de caractériser une eau de surface en zone rurale. Par conséquent, le premier objectif de toute méthode de traitement de l'eau est l'amélioration de ces deux paramètres.

Le traitement combiné PFH-FLS satisfait ces deux objectifs puisque le PFH est principalement utilisé pour séparer les matières solides en suspension, autrement dit pour réduire la turbidité de l'eau. L'eau ainsi prétraitée est ensuite traitée par le FLS qui améliore de manière significative la qualité bactériologique de l'eau. Alors que les mesures de turbidité jouent un rôle important dans le contrôle du fonctionnement d'un PFH, l'efficacité d'un FLS est principalement établie sur la base de mesures bactériologiques.

Le contrôle de la qualité bactériologique de l'eau requiert un équipement spécial et généralement également l'infrastructure d'un laboratoire. Seul du personnel expérimenté et bien formé peut effectuer des analyses fiables. Les contrôles de routine de la qualité bactériologique de l'eau des installations d'alimentation en eau des zones rurales nécessitent des capacités qui, dans de nombreux cas, sont nettement supérieures à celles des institutions responsables. Ces contrôles sont alors souvent restreints à des mesures faites au hasard. Un FLS fonctionnant correctement constitue une unité de traitement stable et fiable ne nécessitant pas de fréquents contrôles bactériologiques. En pratique, leur fréquence peut être réduite à un minimum lorsque le rendement bactériologique du FLS est démontré.

Les mesures de turbidité sont plus simples et peuvent donc être effectuées par l'exploitant local de l'installation de traitement. Des mesures hebdomadaires, ou journalières durant les périodes de forte turbidité, permettent

- de déterminer la qualité de l'eau brute
- d'établir et de contrôler les performances du PFH (et du FLS)
- de définir des critères d'exploitation pour le PFH (établissement du calendrier de lavage/régénération du préfiltre)
- d'optimiser la conception du PFH (par exemple remplacement des matériaux filtrants)

Les mesures de turbidité, bien que simples en théorie, peuvent se révéler difficiles à exécuter de manière régulière dans les zones rurales. Les problèmes de transport et de communication, la fragilité d'instruments délicats et les difficultés d'approvisionnement en produits de base (par exemple en batteries, en standards) sont des aspects prépondérants pouvant provoquer l'échec d'un programme aussi simple que celui du contrôle de la turbidité.

Pour satisfaire ces conditions de terrain, on a développé des méthodes de mesures de terrain simples et robustes permettant de déterminer les principales propriétés physiques de l'eau. Les différentes méthodes décrites dans l'annexe 2 ne permettent pas d'obtenir des valeurs absolues, mais relatives. Elles constituent, toutefois, un outil très utile pour la description de la qualité de l'eau de n'importe quelle installation de traitement.

Un simple **tube de mesure de la turbidité** développé par DelAgua (10) remplace les traditionnels turbidimètres qui généralement dépendent d'une source d'énergie. La méthode visuelle dépend de l'acuité visuelle et n'est donc pas aussi précise qu'une mesure électronique, notamment lors de turbidité élevée. La limite pratique inférieure du tube est d'environ 5 TU (unités de turbidité) et couvre ainsi la gamme de turbidité requise pour le FLS.

La **mesure de la filtrabilité** indique approximativement la quantité de matières solides en suspension dans l'eau et peut donc être utilisée à la place de la méthode standard pour la détermination de la concentration en matières solides en suspension. En effet celle-ci nécessite une balance de haute précision, une pompe à vide et un four séchant dans une chambre à air conditionné. En outre, le cône d'Imhoff modifié est utilisé pour déterminer le volume de matières décantables.

La **mesure de la stabilité** donne quelques informations sur la décantabilité des matières colloïdales et sur la stabilité de la suspension. Les résultats de cette mesure ne reflètent pas que les propriétés de taille et de surface des solides, mais aussi la composition organique et chimique de l'eau. L'adsorption des ions Ca^{2+} et Mg^{2+} à la surface des matières solides en suspension peut déstabiliser la suspension, alors qu'on a montré que les substances humiques augmentent, dans de nombreux cas, la stabilité de la suspension.

Des **échantillons d'eau** devraient être prélevés dans la rivière (eau brute) et à l'entrée et à la sortie des filtres comme le montre la fig. 21. Des points supplémentaires d'échantillonnage sont nécessaires pour optimiser la conception, par une éventuelle modification de la taille des graviers, d'un PFH déjà en service.

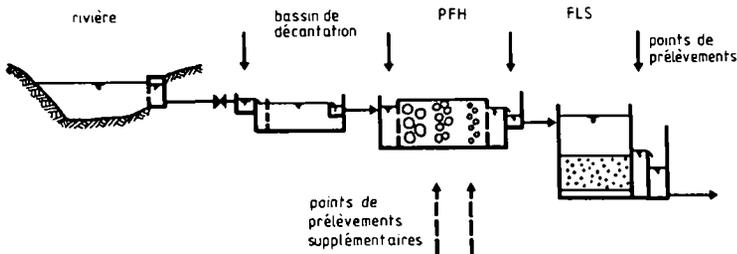


Fig. 21 Emplacement des points de prélèvement

Des tubes d'échantillonnage installés à l'aval de chaque compartiment filtrant, comme l'illustre la fig. 22, permettent d'étudier le rendement de chacun de ces compartiments. Le prélèvement d'eau à l'aide de ces tubes doit être effectué avec beaucoup de soin pour éviter de remettre en suspension les dépôts accumulés autour du point de prélèvement. Cette remise en suspension conduirait à l'obtention de résultats imprécis. Un prélèvement goutte-à-goutte est recommandé, toutefois, le premier tube d'eau prélevée doit être écarté avant de commencer réellement le prélèvement.

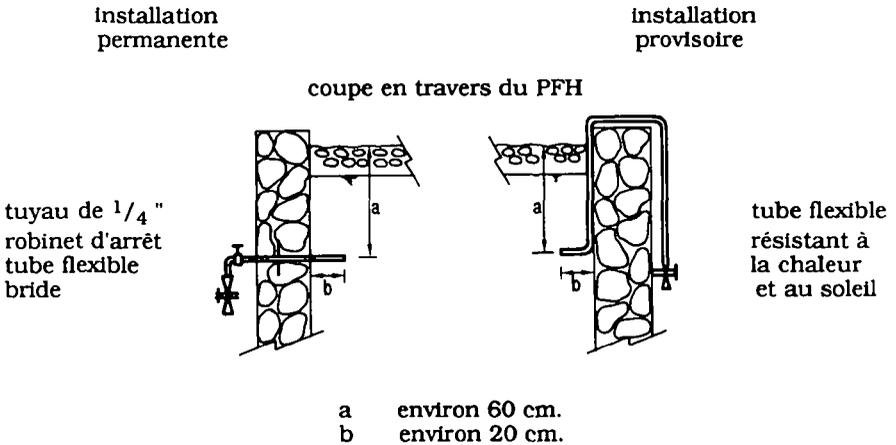


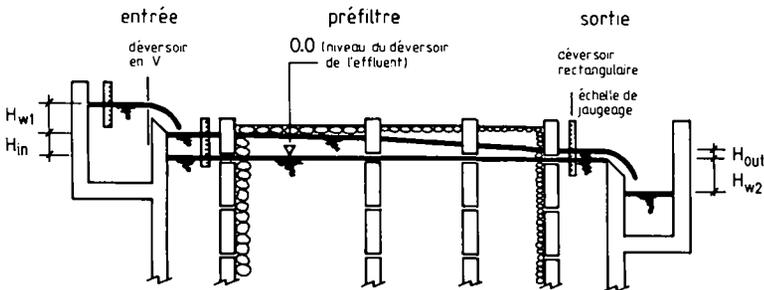
Fig. 22 Installations de prélèvement d'eau

Un équipement de mesures de terrain simple devrait être mis à disposition de chaque station de traitement. L'exploitant doit être soigneusement formé afin d'être capable d'exécuter les différentes mesures de qualité de l'eau et de suivre le programme de contrôle de son installation de traitement. Le tableau 5 résume un tel programme de contrôle. L'exploitant local doit être assisté et guidé par un superviseur rattaché à la section exploitation et maintenance de l'institution gouvernementale responsable de l'alimentation en eau (soit l'administration de l'eau régionale ou du district). Le superviseur effectuera, au début, des visites mensuelles, puis semestrielles, de la station de traitement pour soutenir l'exploitant dans le cadre de ces activités quotidiennes et pour obtenir en retour des informations utiles à la conception et au fonctionnement d'autres stations de traitement.

Détermination de la perte de charge du préfiltre

La perte de charge d'un PFH n'est normalement que de quelques centimètres et n'a donc que peu d'importance pour le fonctionnement du préfiltre. Sa mesure peut toutefois fournir quelques informations utiles sur les modifications se produisant à l'intérieur du préfiltre. L'accumulation des matières solides dans le préfiltre va diminuer sa porosité et augmenter la vitesse de l'écoulement et la perte de charge. Le degré de régénération du préfiltre peut être établi en comparant les pertes de charge avant et après son lavage hydraulique. Une perte de charge continuant de croître dans un des compartiments du préfiltre indique, d'une part, un colmatage prématuré de celui-ci et, d'autre part, conséquemment, le besoin d'un nettoyage manuel.

La perte de charge totale du préfiltre peut facilement être déterminée en mesurant le niveau de l'eau libre dans les chambres d'entrée et, respectivement de sortie, du PFH. La crête du déversoir de sortie peut servir de référence (niveau 0). Des échelles de jaugeage fixées aux murs de ces deux chambres faciliteront les différentes mesures. Il faut faire attention en calculant la perte de charge réelle, soit la différence de niveau entre les deux échelles de jaugeage. L'échelle de jaugeage située dans la chambre de sortie indique également le niveau de l'eau sur le déversoir en V et peut donc être utilisée pour contrôler le débit. La fig. 23 illustre les différentes pertes de charge d'un PFH.



perte de charge du préfiltre

$$\Delta H = H_{in} - H_{out}$$

hauteur d'eau sur le déversoir de sortie

$$H_{out}$$

perte de charge totale dans le PFH

$$\Delta H_{tot} = H_{in} + H_{w1} + H_{w2}$$

Fig. 23 Système de mesure de la perte de charge

L'installation de points de mesures supplémentaires à l'aval de chaque compartiment filtrant est recommandée pour permettre des contrôles supplémentaires du fonctionnement du PFH. Comme nous l'avons déjà vu, la mesure

de la perte de charge en ces points supplémentaires permet de déterminer l'efficacité de la régénération et de détecter de manière précoce un colmatage. Les piézomètres illustrés par la fig. 24 sont utilisés dans ce but. Il est important d'être consciencieux lors des mesures du niveau de l'eau, car la différence de charge entre les différents compartiments filtrants n'est généralement que de quelques millimètres, voire de quelques centimètres. Ainsi, il faudrait disposer de tubes fixés solidement pour éviter des modifications ultérieures de leur niveau qui pourrait conduire à des mesures inexactes.

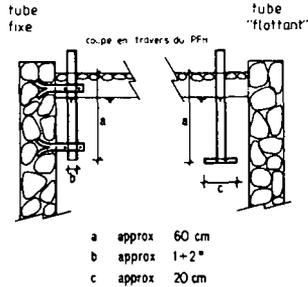


Fig. 24 Piézomètres

La perte de charge du préfiltre pourrait devenir le critère décisif pour décider d'un lavage hydraulique ou manuel si le niveau de l'eau atteint le sommet du matériau filtrant. Une surface d'eau libre au sommet du PFH ne doit jamais être tolérée car l'efficacité du préfiltre chutera dramatiquement parce que l'eau à traiter le court-circuitera, c'est-à-dire, ne traversera plus les compartiments filtrants.

Tableau 5 Programme de contrôle de terrain

mesure/paramètre		fréquence
débit traversant le PFH + le FLS		tous les 2 jours
perte de charge du PFH		1 fois par semaine
perte de charge du FLS		tous les 2 jours
turbidité	de l'eau brute et des effluents du PFH et du FLS	2 fois par semaine
filtrabilité	(de chaque compartiment filtrant si le filtrat a une turbidité élevée)	(quotidiennement en période de forte turbidité)
matières solides décantables	eau brute	1 fois par semaine

Nettoyage du préfiltre

Le rendement du préfiltre décroît avec l'accumulation progressive des matières solides à l'intérieur des compartiments filtrants. Il faut donc nettoyer périodiquement ces matières accumulées pour rétablir l'efficacité du préfiltre et le garder en bonne condition de fonctionnement. Il existe deux manières de nettoyer un préfiltre, soit hydrauliquement soit manuellement.

Le **lavage hydraulique** aide les mécanismes d'auto-régénération déjà exposés et illustrés par la fig. 4. La vidange du préfiltre favorise la chute naturelle des matières accumulées vers le fond du préfiltre. Lorsque le préfiltre est vidé, le niveau de l'eau baissant, les matières solides qui y étaient accumulées sont emportées par l'eau. La partie supérieure du lit filtrant est ainsi nettoyée et régénérée alors que des matières solides supplémentaires vont s'accumuler au fond du préfiltre. Un système de vidange adéquat (la fig. 18 montre quelques exemples) permet d'éliminer ces matières solides. La vitesse initiale de vidange doit, de préférence, être comprise entre 60 et 90 m/h.

Il est très important de **commencer les opérations de nettoyage du côté de l'entrée de l'eau dans le préfiltre** car la plupart des matières solides sont accumulées dans le premier compartiment filtrant. Si les opérations commencent par une vidange vigoureuse à l'aval du préfiltre, la masse de matières solides accumulée sera emportée vers ce point de vidange et l'on court le risque de colmater le compartiment filtrant rempli de matériaux fins.

En outre, une **vidange complète du PFH** en un seul point est également très importante car elle permet d'évacuer les matières accumulées à proximité du point de vidange. Le PFH ainsi vidé est ensuite rempli avec de l'eau et revidé par le même point de vidange si toutes les matières solides n'ont pas été évacuées de cette partie du préfiltre. Cela se traduit par une forte turbidité de l'eau de vidange. Lorsque l'eau de vidange a une turbidité faible, la même procédure est répétée avec le prochain point de vidange.

Lors du **remplissage du PFH**, il faut faire attention à ne pas provoquer le déplacement des matières accumulées au fond du préfiltre vers les compartiments remplis de matériaux fins. Le débit de remplissage doit donc être modéré, il peut être augmenté durant le remplissage. Si le préfiltre est équipé d'un système de vidange efficace permettant l'évacuation de toutes les matières solides accumulées à l'intérieur, il est alors possible de ne vidanger le PFH que partiellement étant donné que la plupart des matières solides auront été entraînées vers le fond du préfiltre par les 2 ou 3 vidanges complètes précédentes.

Dans le cas où aucun système particulier de vidange n'est installé, une régénération partielle de l'efficacité du préfiltre peut encore être obtenue

lorsque l'on utilise le système de vidange classique, de préférence situé dans la chambre d'introduction. Si seule la chambre de sortie est équipée d'un tuyau de vidange, des vitesses de vidange faibles, de l'ordre de 10 à 20 m/h seront observées pour éviter le colmatage des matériaux filtrants fins.

La fréquence de lavage du préfiltre dépend beaucoup des caractéristiques de l'eau brute, de la conception et de l'exploitation de l'installation. La plus grande partie des matières solides (80-90%) des eaux de surface tropicales sont formées de matières inorganiques stables. Etant donné que ce type de matières ne modifie pas les propriétés chimiques de l'eau traversant le préfiltre, on peut les stocker sans effet négatif dans le PFH. Il est toutefois nécessaire, dans le cas de quantité élevée de matières organiques, de laver fréquemment et régulièrement le préfiltre pour éviter la décomposition de celles-ci et prévenir une détérioration de la qualité de l'eau, notamment vis-à-vis du goût et des odeurs. Néanmoins, un lavage hydraulique régulier est conseillé car cela améliore l'efficacité du préfiltre, réduit le compactage des boues et diminue la fréquence des lavages manuels.

Il faut adapter **le calendrier annuel des lavages** hydrauliques aux fluctuations annuelles de la qualité de l'eau brute. On traitera de préférence des eaux très turbides avec un préfiltre relativement propre pour éviter un lessivage des matières solides qui pourrait affecter le fonctionnement du FLS. Il est donc recommandé de laver minutieusement le PFH avant les pointes de charge (autrement dit avant la saison des pluies). L'exploitant peut en principe effectuer le lavage hydraulique sans aide extérieure (soit sans la participation de la communauté). Ainsi, le plan de travail annuel de la communauté n'influence pas le calendrier des lavages hydrauliques.

Le calcul de la balance des masses des matières solides permet aussi d'estimer l'intervalle de temps entre deux lavages hydrauliques. La différence des masses entre l'entrée et la sortie du préfiltre représente la quantité de matières solides retenues. Le PFH doit être lavé hydrauliquement lorsque la charge du préfiltre atteint 10 g. par litre de volume filtrant, car l'efficacité du préfiltre diminue ensuite progressivement. La concentration de matières solides en suspension influence la turbidité, et les valeurs de ces deux paramètres sont souvent corrélées. Etant donné que la plus grande partie des matières solides en suspension sont retenues par le premier compartiment filtrant, sa charge constitue dès lors le critère décisif pour les lavages hydrauliques. Pour déterminer le temps entre deux lavages, on a établi l'équation suivante sur la base des hypothèses mentionnées ci-dessus :

$$T_{\text{run}} = 1'000 \cdot \frac{\sigma \cdot L_1}{(C_o - C_e) \cdot v_F} \approx 10'000 \cdot \frac{L_1}{(T_o - T_e) \cdot v_F}$$

T_{run}	(h)	intervalle de temps entre deux lavages	
σ	(g/l)	charge moyenne du préfiltre	
L_1	(m)	longueur du premier compartiment filtrant	
C_o, C_e	(mg/l)	concentrations des matières solides en suspension	au début et à la fin du premier compartiment filtrant
T_o, T_e	(TU)	turbidité	
v_F	(m/h)	vitesse de filtration	

L'intervalle le temps entre deux lavages hydrauliques est, par exemple, de 11 jours durant la saison des pluies pour un PFH de 10 m. de long, fonctionnant à une vitesse de 0.5 m/h et avec une réduction de 300 TU de turbidité dans les 4 m. du premier compartiment filtrant. Durant la saison sèche, lorsque la turbidité de l'eau est faible, les mêmes 4 m. du premier compartiment ne doivent être lavés qu'après deux mois de fonctionnement pour une réduction de 50 TU de turbidité dans ce compartiment.

La fig. 25 illustre l'approche générale des nettoyages hydrauliques du préfiltre. Toutefois, les détails de la procédure dépendent énormément de la situation. Chaque exploitant devra donc établir, sur la base de ces expériences pratiques, la procédure optimale et la fréquence des lavages de son installation de traitement. Il sera certainement plus intéressé par un lavage hydraulique efficace que par un lavage manuel, car celui-ci prend beaucoup de temps et représente un important travail.

Lorsque les matières solides accumulées au fond du préfiltre ou, pire, dans l'ensemble du lit filtrant, ne peuvent plus être évacuées hydrauliquement, il est nécessaire d'avoir recours au **lavage manuel**. Cela se produit s'il n'y a pas de système de vidange au fond du lit filtrant, si les lavages hydrauliques ont été négligés ou si les matières solides se sont agglomérées sur les matériaux filtrants ou au fond du préfiltre. Une couche visqueuse peut éventuellement couvrir les matériaux filtrants si une activité biologique se développe à l'intérieur du préfiltre à cause de charges élevées en matières organiques dissoutes contenues dans l'eau. Cette couche biologique va très probablement, au début, augmenter l'efficacité du préfiltre, mais elle empêchera, par la suite, la chute vers le fond du préfiltre des matières déposées sur les matériaux filtrants. L'accumulation de matières agglomérées peut aussi empêcher l'auto-régénération du préfiltre.

Enfin, si des matières subsistent dans un lit filtrant envasé et vide, elles se dessècheront et formeront une croûte autour des matériaux filtrants. Un **PFH ne devrait donc jamais être conservé sec**, à moins qu'il n'ait été correctement lavé auparavant.

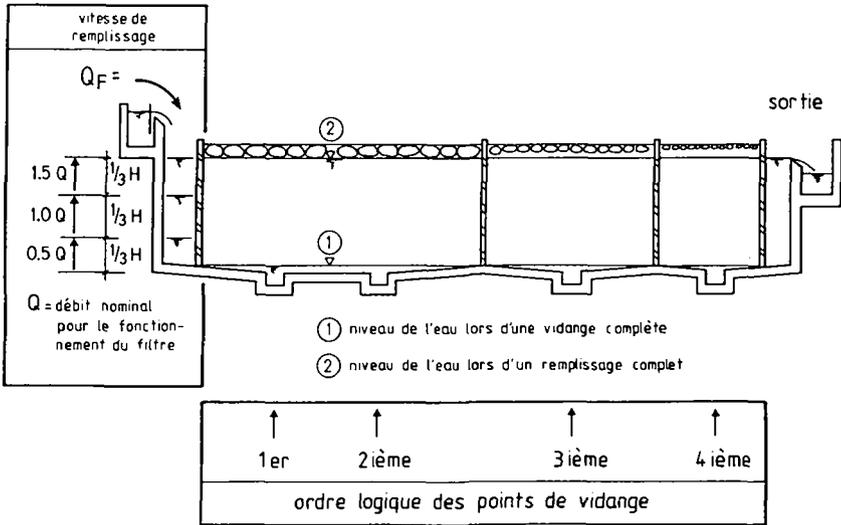


Fig. 25 Procédure du lavage hydraulique

Le lavage manuel des matériaux filtrants consiste principalement à les extraire, à les laver puis à les réintroduire dans le préfiltre. Il ne doit pas y avoir d'eau dans le préfiltre lors de l'extraction des matériaux filtrants. En principe, les matériaux filtrants grossiers sont extraits en premier, lavés puis réintroduits dans leur compartiment. La première partie des matériaux filtrants peut être stockée un instant, alors que le reste des matériaux sont lavés et réintroduits directement dans le but d'épargner de la place de stockage et de réduire la quantité de travail. Dans le cas où le PFH est construit avec des murs de séparation en dur, chaque fraction de matériaux filtrants est généralement manipulée séparément pour éviter de mélanger les matériaux. Si, au contraire le PFH est construit avec des séparations tendres, voire inexistantes, alors il faut extraire les matériaux filtrants simultanément des deux côtés. Les différentes procédures sont illustrées par la fig. 26.

La meilleure solution pour **laver les matériaux filtrants** est de les déposer dans un bassin de lavage équipé d'un système d'agitation mécanique des agrégats. Le frottement des agrégats l'un contre l'autre va enlever les impuretés déposées à leur surface. On peut épargner de l'eau de lavage et obtenir un bon rendement si de petites quantités de matériaux filtrants sont brassées avec une pelle dans un premier bassin pour enlever le gros des impuretés, puis transférés dans un second bassin pour le lavage final.

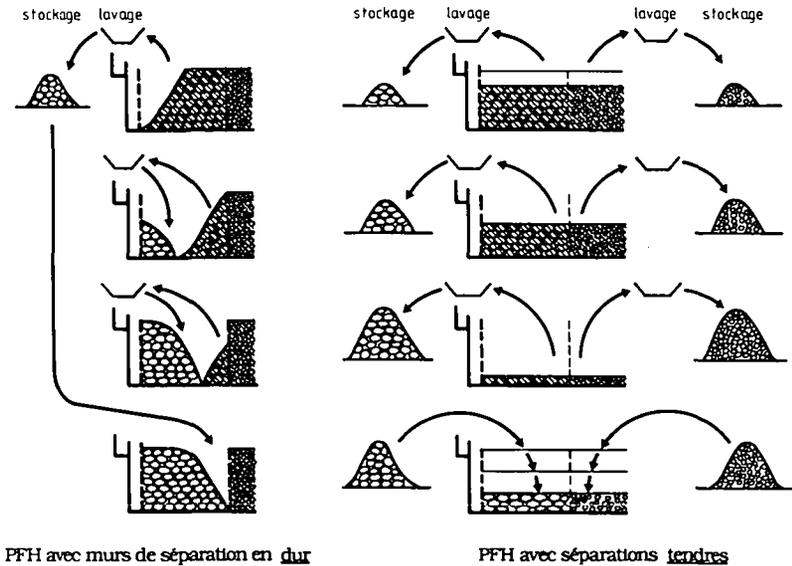


Fig. 26 Procédure de lavage manuel

La fig. 27 représente schématiquement une telle installation de lavage. Cependant, un lavage centralisé nécessite le transport des matériaux filtrants. Une autre solution consisterait à utiliser le canal de vidange ouvert situé à côté du PFH étant donné que cela nécessiterait moins d'effort pour transporter les matériaux filtrants.

Il est nécessaire de **retamiser** les matériaux filtrants si les différentes fractions granulométriques ont été mélangées ou s'ils ont été cassés en plus petits morceaux lors de leur extraction ou du lavage mécanique. Une taille uniforme, bien déterminée, pour chaque fraction granulométrique est indispensable pour maintenir une porosité élevée du lit filtrant. Dans ce contexte, il est évidemment avantageux d'installer dès le début un matériau filtrant ayant une bonne résistance mécanique.

La **réinstallation** des matériaux filtrants ne devrait pas présenter de difficultés. Cependant, les matériaux devraient de préférence être remis dans le préfiltre juste après avoir été lavés pour éviter qu'ils soient contaminés par de la poussière ou d'autres impuretés. Les matériaux cassés doivent être remplacés et le préfiltre rempli jusqu'au même niveau que précédemment. Une réserve de matériaux filtrants devraient donc exister sur chaque installation de traitement.

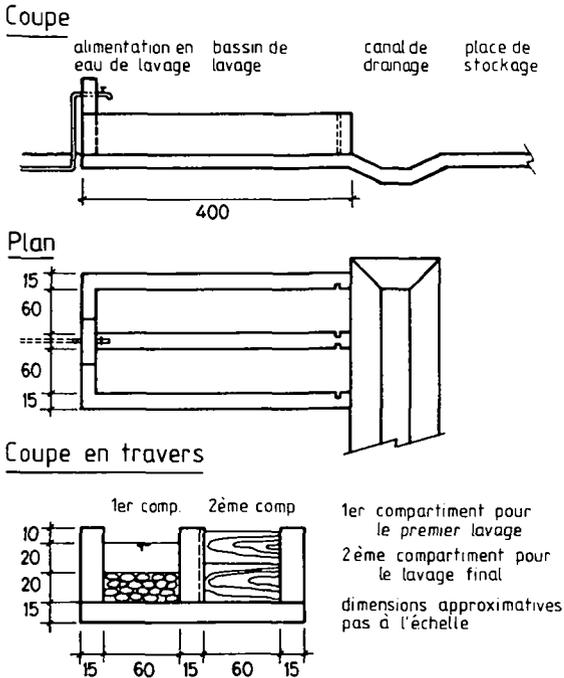


Fig. 27 Installation de lavage des graviers

Le lavage manuel d'un préfiltre représente une grande quantité de travail qui dépasse souvent les capacités de l'exploitant. Il est nécessaire de mobiliser de la main-d'oeuvre supplémentaire, soit en engageant momentanément des ouvriers locaux, soit en sollicitant l'ensemble de la communauté. Une organisation et une planification consciencieuses sont nécessaires si le lavage manuel du préfiltre nécessite des pelles, des tamis, de préférence 2-3 solides brouettes, quelques morceaux de bois et des seaux. Le même matériel déjà utilisé lors de la construction devrait donc rester sur l'installation de traitement ou à disposition du responsable local à la fin de la construction.

Des matériaux et des outils adéquats doivent être fournis pour permettre un lavage efficace du préfiltre, sinon les travaux de maintenance deviendront trop ennuyeux et risquent de n'être plus jamais effectués. Le lavage manuel du préfiltre nécessite des pelles, des tamis, de préférence 2-3 solides brouettes, quelques morceaux de bois et des seaux. Le même matériel déjà utilisé lors de la construction devrait donc rester sur l'installation de traitement ou à disposition du responsable local à la fin de la construction.

Maintenance du préfiltre

Les petites cause provoquent souvent de grandes conséquences. Ce proverbe s'applique aussi à la maintenance d'un PFH. La maintenance d'un préfiltre n'est pas très exigeante étant donné que l'installation ne contient aucune partie mécanique. Néanmoins, le but de la maintenance devrait être de maintenir l'installation dans de bonnes conditions de fonctionnement dès sa mise en service. On peut généralement éviter de recourir à une assistance extérieure pour les travaux de maintenance si les travaux suivants sont exécutés correctement par l'exploitant local :

- entretien périodique des environs de l'installation de traitement (coupe de l'herbe; arrachage des buissons et des arbres qui pourraient endommager l'installation avec leurs racines; évacuation des ordures)
- protection du sol contre l'érosion (notamment les structures de prise d'eau de surface, les canaux de vidange d'eau de lavage et les surfaces de ruissellement)
- réparation des fissures dans les murs des différentes structures et remplacement des plâtres écaillés
- application de produits anticorrosifs sur les parties métalliques exposées (déversoirs en V, échelles de jaugeage, tuyaux)
- contrôle du fonctionnement des différentes vannes et du système de vidange et, de temps en temps, lubrification de leurs parties mobiles
- désherbage de la surface des matériaux filtrants
- écrémage des matériaux flottants à la surface de l'eau
- élimination des matériaux décantés grossiers (chambre de distribution, entrée du PFH)
- contrôles des accessoires et remplacement des éléments défectueux (outils et équipement de mesures)

Le terme "**périodique**" ne s'applique pas seulement au premier point de cette liste, mais à chacun d'entre eux. Une maintenance correcte de l'installation de traitement garantit un usage à long terme de l'installation à des coûts d'exploitation faibles.

Résumé :

- **ne mettez en service le préfiltre que lorsque la construction est complètement terminée**
- **contrôlez le fonctionnement du système de vidange et nettoyez toutes les saletés subsistant à l'intérieur du préfiltre avant sa mise en service**
- **utilisez, si possible, l'installation de traitement 24 heures sur 24**
- **contrôlez quotidiennement le débit traversant le préfiltre et ajustez-le si nécessaire**
- **mesurez et enregistrez l'évolution de la perte de charge du PFH**
- **contrôlez la qualité de l'eau brute et de l'effluent du préfiltre**
- **effectuez de fréquents lavages hydrauliques pour rétablir l'efficacité du préfiltre**
- **commencez le lavage hydraulique du côté arrivée de l'eau dans le PFH et videz-le complètement**
- **remplissez à nouveau le PFH avec un débit d'eau faible**
- **exécutez le lavage manuel lorsque les matières retenues à l'intérieur ne peuvent plus être évacuées hydrauliquement du PFH**
- **il faut soutenir l'efficacité de la maintenance par un apport d'outils adéquats**

Que coûte un PFH ?

6. CONSIDERATIONS ECONOMIQUES

Ces coûts dépendent des conditions locales du moment et le fait qu'il est généralement difficile d'obtenir des informations économiques valables constitue une remarque très pertinente. La conception du préfiltre, la disponibilité de matériaux de construction et le type de constructeur (construction par un entrepreneur privé, une institution nationale ou avec la participation de la communauté dans le cadre d'un projet d'auto-assistance) influencent fortement les coûts de construction. Il n'est donc pas possible d'appliquer des valeurs absolues de manière générale. Toutefois, les aspects économiques de la construction et de l'exploitation d'un PFH peuvent être comparés avec d'autres éléments du système d'alimentation en eau potable. De plus, les différents coûts peuvent être séparés selon les montants en monnaie locale et étrangères.

Répartition des coûts de construction d'un PFH et coûts spécifiques

Une évaluation de la répartition des coûts de construction de différents projets de PFH situés en Tanzanie, au Kenya, en Indonésie et en Australie et ayant une capacité nominale variant entre 70 et 750 m³/jour révèle des résultats similaires :

- terrassement et structures	environ 70% des coûts totaux
- matériaux filtrants	environ 20% " " "
- tuyaux et accessoires	environ 10% " " "

Les conditions topographiques et pédologiques (nécessité de travaux d'excavation et type de fondation) aussi bien que le type de structure (béton armé ou maçonnerie de briques) sont des facteurs de coût décisifs pour le terrassement et la structure. La disponibilité locale de matériaux filtrants ayant les dimensions requises influence fortement leur prix d'achat, donc leur approvisionnement. Seule une faible économie d'échelle est possible sur ces deux premiers composants du coût total, toutefois, le coût relatif des tuyaux et des accessoires décroîtra avec l'augmentation de la taille de l'installation.

Les coûts spécifiques de construction d'un PFH par m³ de volume filtrant utile varient de US \$ 100 à 175 pour les installations étudiées en Tanzanie, au Kenya et en Indonésie. Ces coûts spécifiques atteignent US \$ 600 pour l'installation australienne. Toutefois, ce prix ne dépend pas seulement de la faible capacité de l'installation et de sa construction en béton armé, mais

reflète aussi les prix de construction d'un entrepreneur privé dans un pays industrialisé. Dans les pays en développement, des coûts spécifiques variant entre US \$ 150 et 200 /m³ couvriront probablement les coûts de construction d'un PFH. Ceux-ci pourront être réduits jusqu'à 50% dans les projets d'auto-assistance où seuls les matériaux de construction doivent être payés.

Les coûts spécifiques de construction d'un PFH par m³ d'eau traitée quotidiennement dépendent de la longueur du préfiltre et de la vitesse de filtration utilisée. Pour une longueur totale du préfiltre de 10 m, une vitesse de filtration de 1 m/h et un fonctionnement 24 heures sur 24, les coûts spécifiques par m³ d'eau traitée quotidiennement sont les suivants :

coûts totaux de construction	environ US \$ 60-80 /m ³ /jour
coûts des matériaux uniquement (par exemple dans les projets d'auto-assistance)	environ US \$ 30-40 /m ³ /jour

Comparaison des coûts spécifiques d'un PFH et d'un FLS

Une étude des coûts des FLS faite en Inde (11) et basée sur les prix de 1979 révèle des coûts spécifiques de construction d'environ US \$ 25-40 /m³/jour pour la capacité nominale quotidienne considérée, soit de 70 à 750 m³/jour.

Une estimation du coût des matériaux faite dans le manuel FLS (1) a révélé des coûts spécifiques plus élevés. Pour la construction d'un FLS avec les options les moins chères, soit avec des parois inclinées protégées ou une maçonnerie en briques, l'estimation des coûts des matériaux varie entre US \$ 40-60 /m³/jour et, respectivement, US \$ 160-240 /m³/jour. Toutefois, les coûts estimés pour ces installations, dont la capacité varie entre 70 et 350 m³/jour, incluent aussi les coûts des matériaux de construction pour de petits réservoirs à eau de 20 à 40m³.

Les deux études ont révélé la difficulté d'obtenir des indications valables sur les coûts à cause des différences dans le choix des matériaux de construction et des coûts de la main-d'oeuvre. Il serait par conséquent plus approprié d'effectuer une comparaison des coûts spécifiques des PFH et des FLS sur la base d'un devis. Même une telle comparaison est considérablement affectée par la conception du préfiltre, autrement dit par sa longueur et la vitesse de filtration adoptée.

En ce qui concerne les caractéristiques moyennes de filtration du FLS et du PFH, les volumes de matériaux filtrants sont du même ordre de grandeur.

Par exemple, une capacité de $1 \text{ m}^3/\text{h}$ nécessite environ 10 m^3 de matériaux filtrants pour un PFH (si sa longueur totale est de 10 m. et la vitesse de filtration de $1 \text{ m}/\text{h}$), et environ 8.7 m^3 de sable et de gravier pour un FLS (si l'épaisseur de la couche de sable est de 1 m, celle de gravier de 0.3 m. et la vitesse de filtration de $0.15 \text{ m}/\text{h}$). La taille des bassins de filtration est également similaire. Avec les mêmes hypothèses que ci-dessus, il faut construire un PFH de 16.8 m^3 de volume total (si la hauteur totale de la structure est de 1.5 m. et la longueur des chambres d'entrée et de sortie de 0.6 m. chacune), et un FLS de 16.7 m^3 de volume total (si la hauteur totale de la structure est de 2.5 m).

Sur la base de ces considérations, on peut conclure que **les coûts de construction d'un FLS et d'un PFH sont du même ordre de grandeur**. Autrement dit, l'adjonction d'un PFH à un FLS va en gros faire doubler les investissements.

Comparaison entre les investissements pour l'installation de traitement et les coûts des tuyaux

Les coûts de construction d'une station de traitement de l'eau peuvent représenter un pourcentage élevé des coûts totaux d'un système d'alimentation en eau. Outre les aspects techniques et fonctionnels, il faut donc considérer avec attention les critères économiques avant de choisir une source d'eau.

Par exemple, l'installation d'une conduite de transport d'eau claire ne nécessitant pas de traitement peut représenter une alternative économique à la construction d'une station de traitement. Sur la base des coûts équivalents, la longueur économique d'une conduite croît avec sa capacité nominale. Cela signifie que, à cause des aspects économiques, de petits réseaux d'alimentation en eau sont limités à l'utilisation de sources d'eau locales, alors que les grands réseaux peuvent, en principe, transporter de l'eau d'un lieu éloigné pour le même investissement que celui d'une station de traitement.

Pour effectuer une évaluation économique correcte, les coûts annuels d'exploitation et de maintenance doivent être additionnés aux annuités de remboursement du capital. Toutefois, ces coûts d'exploitation et de maintenance sont très variables et, en général, difficiles à estimer.

En principe, l'installation d'une conduite de transport pour l'alimentation de grandes quantités d'eau non traitée, mais sûre, constitue une alternative économique à la construction d'une station de traitement, notamment si un écoulement gravitaire est possible.

Comparaison des coûts entre un PFH et une floculation/décantation

Dans les pays en développement, la méthode de prétraitement consistant à déstabiliser une suspension par une floculation chimique, puis à faire décanter les matières solides dans un bassin de décantation n'est généralement pas appropriée aux systèmes ruraux d'alimentation en eau. Néanmoins, une comparaison des coûts entre ce procédé et un PFH a été faite en Tanzanie (6). Les coûts de construction d'une unité de prétraitement ayant une capacité de 440 m³/jour et composée d'un bassin à chicanes (temps de séjour de 20 min.) utilisé comme flocculateur et d'un bassin de décantation à flux horizontal (charge hydraulique superficielle de 1 m/h, temps de séjour de 2 heures) ont été estimés à environ US \$ 20'000. Ce résultat représente un coût spécifique d'environ US \$ 46 /m³/jour. Les coûts de construction d'un bâtiment de stockage des produits chimiques n'ont pas été inclus dans ce cas de figure. L'investissement total pour un tel procédé de prétraitement chimique serait donc inférieur aux coûts de construction d'un PFH.

Toutefois, les coûts d'exploitation d'une floculation chimique peuvent facilement représenter entre 5 et 10% de l'investissement initial nécessaire pour les travaux de construction. Les coûts d'achat des produits chimiques, qui dans la plupart des cas doivent être importés, représente la majeure partie des coûts d'exploitation.

Si l'on considère les coûts équivalents annuels comprenant les annuités de remboursement du capital et les coûts d'exploitation, la construction d'un PFH est, à long terme, nettement plus avantageuse car ce type de prétraitement fonctionne avec des coûts d'exploitation faibles.

Coûts d'exploitation d'un PFH

Un PFH fonctionne sans apport de produits chimiques. Les coûts de lavage du préfiltre sont les seuls coûts d'exploitation d'un PFH. Les lavages hydrauliques du préfiltre peuvent être effectués par l'exploitant et ne représentent donc pas des dépenses supplémentaires, exception faite d'éventuels coûts d'énergie. Toutefois, le lavage manuel nécessite, généralement, des heures de travail supplémentaires.

Le lavage manuel devrait être nécessaire tous les 3 à 5 ans, il peut même être évité par l'installation d'un système efficace de vidange. Si l'on admet une capacité de lavage de 1.5 m³ de graviers par homme et par jour, le lavage des matériaux filtrants d'un PFH de 10 m. de long fonctionnant à une vitesse de filtration de 1 m/h représentera un travail spécifique d'environ 0.3 homme-jour/m³/jour. Par conséquent, le lavage manuel des matériaux filtrants d'un

PFH ayant les mêmes spécifications et, par exemple, une capacité de 200 m³/jour représentera un travail total de 56 hommes-jour.

Etant donné que l'utilisation d'un PFH ne nécessite que du travail, n'importe quelle communauté ayant un intérêt élevé à disposer d'eau traitée peut fournir le travail représentant l'exploitation de ces préfiltres. On peut réduire les coûts variables à un minimum si la communauté participe au nettoyage du PFH. Le traitement de l'eau peut donc être réalisé de manière totalement indépendante et il ne dépend d'aucun apport financier et technique extérieur. Par conséquent, des dépenses d'exploitation et de maintenance importantes, dont les montants ne sont souvent pas disponibles, peuvent être réduites à un minimum absolu en installant des procédés de traitement indépendants tels que le PFH et le FLS. C'est un critère important pour le fonctionnement à long terme de n'importe quel système d'alimentation en eau.

Répartition des coûts entre monnaie locale et étrangère

Le PFH est une technologie essentiellement indépendante et largement reproductible avec des moyens locaux. Conformément à la structure des coûts de construction, 90% des investissements représentent des dépenses pour les matériaux de construction, tels que du gravier, du sable, du ciment, des briques et des pierres, et du travail, tous deux facilement disponibles dans le pays. Les 10% restant représentent les coûts pour l'achat des tuyaux, des vannes et des accessoires (déversoirs en forme de V, échelles de jaugeage) qui doivent, probablement, être partiellement importés. Ainsi, seule une petite partie des coûts de construction, voire même rien du tout, doit être payée en monnaie étrangère.

L'exploitation et la maintenance d'un PFH nécessite fondamentalement de la main-d'oeuvre, mais aucun matériel supplémentaire. Le PFH est en système fonctionnant au niveau du village, et est de ce fait exploité et maintenu totalement par la communauté locale. Par conséquent, un procédé absolument indépendant ne nécessite que des apports locaux.

Résumé :

- environ 90% des coûts de construction représentent des dépenses pour les matériaux de construction et la main-d'oeuvre locaux. Les 10% restant représentent les coûts pour l'achat des tuyaux et de l'équipement
- les coûts de construction d'un PFH et d'un FLS sont du même ordre de grandeur. Les coûts spécifiques par m³ de capacité journalière peuvent être compris entre US \$ 60-80 /m³ /jour
- lors du choix de la source d'eau il faut considérer les aspects économiques, techniques et relatifs au fonctionnement de l'installation
- le prétraitement conventionnel (floculation/décantation) nécessite moins d'investissement que le PFH, mais il est moins économique à long terme à cause des coûts d'exploitation élevés
- les coûts d'exploitation d'un PFH sont essentiellement constitués par du travail; ils peuvent être évités si la communauté participe à l'exploitation
- la construction d'un PFH ne nécessite aucun, ou presque aucun, apport en monnaie étrangère, et le fonctionnement du PFH est totalement indépendant

comment dimensionner un PFH ?

7. EXEMPLE DE DIMENSIONNEMENT

Un petit exemple de dimensionnement illustrera la réalisation d'un PFH. Il est évident qu'une installation de traitement, notamment les préfiltres, ne représente qu'une partie du système d'alimentation en eau. Le fonctionnement correct de l'ensemble du système dépend de la fiabilité de chacun de ces composants. Cet exemple de dimensionnement inclut donc aussi quelques remarques d'ordre général sur la conception des autres composants d'un système d'alimentation en eau. Un tel système peut être divisé en trois parties principales, soit les installations de captage et de transport de l'eau brute, celles de traitement et celles de distribution. La fig. 28 illustre ces trois grands types d'installations. L'exemple suivant ne fera qu'esquisser les aspects principaux des installations de captage et de transport de l'eau brute, de même pour celles de distribution, pour se concentrer sur les installations de traitement et notamment sur le PFH.

Besoins en eau

Les plus grandes communautés des régions rurales dans les pays en développement comptent, en général, de 2000 à 5000 habitants. Considérons donc un village dont la population actuelle est de 2200 habitants. Etant donné qu'il n'y a aucun point d'eau (source, eau souterraine ou eau de pluie) à disposition, les gens sont obligés de se ravitailler en eau à la rivière voisine. Comme la population se lave, défèque et fait boire ses animaux au même endroit, la rivière est polluée. Seule une petite quantité d'eau (environ 5-10 l/habitant*jour) est transportée jusqu'au village. L'hygiène personnelle et domestique est ainsi grandement affectée et les risques de propagation de maladies d'origine hydrique et contrôlables par ablution s'accroissent. Si les disponibilités en eau augmentent, de préférence combinées avec une amélioration des installations sanitaires, le niveau général de santé de la population augmentera.

Les besoins en eau dépendent du type de système de distribution. Une valeur de dimensionnement de 30 l/habitant*jour est fréquemment utilisée dans le cas d'un système d'alimentation équipé de borne-fontaines publiques. Avec un tel système, la consommation réelle est souvent inférieure, de l'ordre de 12 à 20 l/hab*jour. Une valeur de dimensionnement de 30 l/hab*jour fournit donc une certaine capacité de réserve qui permet d'absorber le gaspillage et les pertes.

1ère hypothèse : besoin journalier en eau par habitant 30 l/hab*jour

Comme le nombre d'habitants du village va très probablement augmenter, le réseau doit être dimensionné pour satisfaire les besoins de la population future. La construction par étapes des installations, généralement plus économique et plus flexible, constitue la meilleure solution pour atteindre ce but.

Un dimensionnement de la première étape pour les 15 prochaines années est assez raisonnable et permet une alimentation en eau correcte pendant 12-13 ans, si la planification et la construction durent 2-3 ans. Un taux annuel d'accroissement de la population de 2-4% est usuel dans les régions rurales des pays en développement. Supposons donc un taux annuel de 3% pour notre exemple de dimensionnement.

La quantification des besoins en eau à long terme est difficile, car elle dépend de différents facteurs tels que l'accroissement de la population, le niveau de vie, le type d'infrastructure, etc. Supposons donc un accroissement général des besoins en eau de 50% pour satisfaire les exigences supplémentaires pour la 2^{ème} étape.

2^{ème} hypothèse : évolution des besoins en eau journaliers

- population actuelle : 2200 habitants

- étape 1 :

population dans 15 ans : $2200 * 1.5 = 3300$ habitants

besoin en eau : $3300 * 30 \text{ l/hab*jour} = 99 \text{ m}^3/\text{jour}$, admettons $100 \text{ m}^3/\text{jour}$

- étape 2 :

besoin en eau : $100 \text{ m}^3/\text{jour} * 150\% = \underline{150 \text{ m}^3/\text{jour}}$

Conception générale d'un système d'alimentation en eau

Une décision fondamentale lors de la planification d'un système d'alimentation en eau est le choix du profil hydraulique . La priorité absolue doit être donnée à une alimentation gravitaire puisqu'elle ne nécessite aucune installation d'élévation de l'eau. La priorité sera ensuite donnée aux réseaux pouvant être équipés de pompes à main. La dernière option, soit l'installation sur le réseau de pompes automatiques élaborées, ne devraient être choisie que dans des cas particuliers où une alimentation fiable en énergie est garantie et l'infrastructure pour la maintenance des pompes disponible. Des béliers hydrauliques peuvent constituer une option adéquate mais ils nécessitent un plan d'eau avec une chute et un refoulement suffisants.

La fig. 28 illustre différentes possibilités d'aménagement hydraulique. En ce qui concerne l'eau brute, soit elle s'écoule gravitairement jusqu'à la station de traitement, soit elle est pompée, de préférence dans un réservoir tampon d'eau brute, puis s'écoule gravitairement vers la station de traitement. L'eau traverse celle-ci et est ensuite stockée. L'eau traitée est amenée aux consommateurs, soit par un système de canalisations et de bornes-fontaines situées à proximité de leur maison, soit par des citernes équipées de pompes à main et situées entre la station de traitement et le village. Un étage de pompage supplémentaire devrait être évité (voir aussi la fig. 8), mais il peut se révéler indispensable pour un réseau situé dans une plaine.

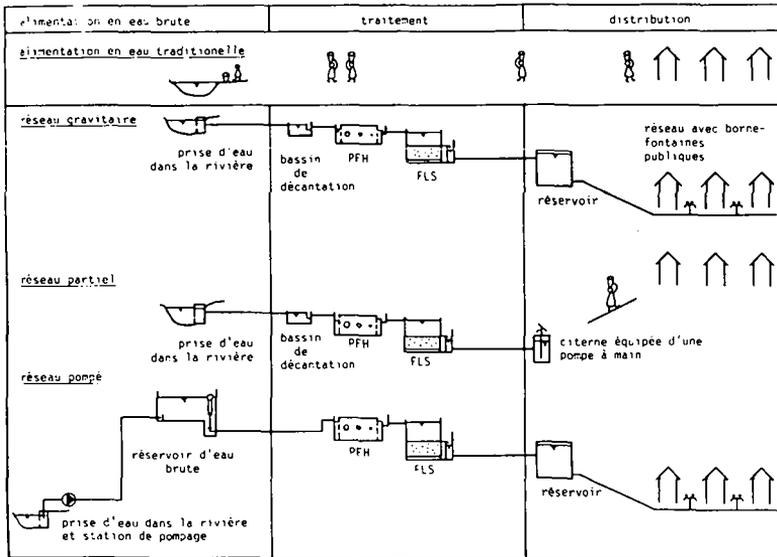


Fig. 28 Systèmes d'alimentation en eau

Alimentation en eau brute

La durée de vie économique et physique des structures et des tuyaux est d'environ 25 ans, ou plus. Celle des composants électriques et mécaniques est de 15 ans s'ils sont correctement entretenus. Ainsi, dans notre exemple de dimensionnement, la prise d'eau, les tuyaux, et si nécessaire, un bâtiment

pour l'installation de pompage et le réservoir tampon pour l'eau brute seront dimensionnés pour 150 m³/jour. Par contre, les pompes auront une capacité de 100 m³/jour pour satisfaire les besoins de la première étape.

La taille des tuyaux dépend du débit nominal et du gradient hydraulique disponible. En principe, une vitesse de l'eau dans les tuyaux de 1 m/s est économique. Pour éviter des problèmes d'entretien et des pertes de charge élevées, elle ne devrait pas dépasser 1.5-2 m/s.

Si le réseau est équipé d'installations de pompage fonctionnant 8 heures par jour, il faut l'équiper de 2 pompes de 3.5 l/s ou de 3 pompes de 1.75 l/s chacune pour avoir une unité de réserve pour la première étape. Enfin, un réservoir d'eau brute de 100 m³ de volume est nécessaire pour permettre un fonctionnement continu de la station de traitement, toujours dans le cas où les pompes fonctionnent 8 heures/jour. Un volume supplémentaire de 20 m³ est nécessaire pour éviter une vidange complète du réservoir, ce qui évacuerait les matières solides grossières décantées au fond de celui-ci et les enverrait dans le PFH. Une structure d'entrée diminuant la turbulence de l'eau, telle que celle construite dans les bassins de décantation, est aussi importante pour améliorer les conditions hydrauliques et éviter la remise en suspension des matières solides. Le débit d'eau brute à la sortie du réservoir est, de préférence, contrôlé par une installation mécanique de contrôle du débit (voir la fig. 7) qui maintient un débit d'alimentation des préfiltres constant, indépendamment du niveau de l'eau dans le réservoir.

Traitement de l'eau

Il est possible que le bassin versant de la rivière à l'amont de la prise d'eau soit intensivement cultivé et très peuplé. A cause du manque de terrain et de la production de charbon de bois, la déforestation progresse. La qualité de l'eau de la rivière dépend de tous ces facteurs et pourrait ainsi avoir les caractéristiques suivantes :

qualité de l'eau brute	saison sèche	saison des pluies
turbidité	30 - 50	300 - 500 unités
filtrabilité	100 - 150	20 - 50 ml/3 min.
conc. en matières en susp. *)	20 - 50	200 - 500 mg/l
carbone organique dissous *)	4 - 6	2 - 4 mg C/l
E. coli	500 - 10'000	/100 ml

*) ces informations peuvent ne pas être disponibles. Toutefois, il est possible que la concentration en matières en suspension soit du même ordre de grandeur que la turbidité.

En conséquence, une eau de rivière turbide a une concentration relativement élevée en matières en suspension (érosion du sol) et une charge organique modérée. Le nombre assez élevé de *E. coli* dans cette eau de rivière indique la présence d'une contamination de l'eau par des excréments humains.

Une telle eau de rivière doit être traitée physiquement et bactériologiquement pour satisfaire les normes requises pour l'eau potable. Alors que le PFH réduit la turbidité et la concentration en matières en suspension, le FLS diminuera la demande chimique en oxygène et la contamination bactériologique de l'eau. Un petit bassin de décantation ou, si nécessaire, le réservoir tampon d'eau brute, placé avant le préfiltre permettra de séparer les matières solides grossières. L'installation de traitement comprendra ainsi les procédés suivants :

décantation	-	préfiltration	-	filtration principale
par		par		par
un bassin de décantation		un PFH		un FLS
ou				
un réservoir d'eau brute				

Le débit de dimensionnement de la 2^{ème} étape, soit 150 m³/jour, est utilisée pour la conception de la station de traitement. Différentes installations simples telles que le bassin de décantation ou la chambre de distribution sont dimensionnés pour ce débit final. Les préfiltres et les filtres, qui constituent les structures principales, seront construits en 2 étapes avec une capacité initiale de 100 m³/jour.

Bassin de décantation

La rivière peut transporter une quantité considérable de matières solides, notamment pendant la saison des pluies où les débits sont très élevés. Un bassin de décantation est donc, de préférence, placé avant les préfiltres pour permettre la décantation de ces matières solides, étant admis qu'il est plus facile de nettoyer un bassin qu'une installation de filtration. Si l'on ne dispose que d'un bassin de décantation, on le lavera durant les périodes de faible turbidité de l'eau brute. Un by-pass permet de poursuivre l'exploitation de la station de traitement pendant ces périodes de nettoyage.

Dans le but de séparer une grande partie des matières solides décantables, le bassin de décantation est dimensionné pour permettre la décantation de toutes les particules minérales plus grandes que 20 µm (voir aussi la fig. 12).

On a donc les critères de dimensionnement et les dimensions suivants:

capacité nominale	$Q = 150 \text{ m}^3/\text{jour} = 6.25 \text{ m}^3/\text{heure}$
charge superficielle	$s_o = 0.6 \text{ m}/\text{heure}$
temps de rétention	$T_d = 2 \frac{1}{2} \text{ heures}$
surface nécessaire	$A = 6.25 : 0.6 = 10.4 \text{ m}^2$
longueur admise	$L = 8 \text{ m}$
largeur admise	$W = 1.5 \text{ m}$
profondeur admise	$H = 1.5 \text{ m}$

contrôle :

charge superficielle $s_o = \frac{6.25}{8 * 1.5} = 0.5 \text{ m}/\text{heure}$

temps de rétention $T_d = \frac{8 * 1.5 * 1.5}{6.25} \approx 3 \text{ heures}$

Le réservoir tampon d'eau brute nécessaire dans un réseau dont l'eau brute est pompée devrait, de préférence, être aussi de forme rectangulaire. Un réservoir avec un volume de stockage de 120 m^3 et une profondeur de 2.5 m permettra de retirer de manière efficace les matières solides décantables.

Dimensionnement du PFH

La turbidité d'une eau brute prédécantée pendant 2-3 heures aura, en principe, diminuer de moitié de sa valeur originale. Cette réduction de la turbidité dépend de la stabilité de la suspension, de la concentration en particules solides et de leur distribution granulométrique. Le rendement d'un bassin de décantation peut être déterminé par la mesure de la stabilité de la suspension. Les informations fournies par une telle mesure doivent être interprétées soigneusement car elle est effectuée avec de l'eau immobile et non dans les conditions d'écoulement du bassin.

Le PFH doit être dimensionné pour les pointes de turbidité. Dans notre exemple de dimensionnement, il est possible de réduire avec un bassin de décantation la turbidité et la concentration en matières en suspension de 500 à 300 unités de turbidité, respectivement, de 500 à 300 mg/l.

Si l'on se réfère au tableau 2 de la page 16, on voit que cette eau brute prèdècantèe a une turbiditè moyenne et que la vitesse de filtration appliquèe devrait ètre de 0.75 à 1 m/h. Pour cette turbiditè relativement èlevèe, on prèvoit dans notre exemple de dimensionnement une vitesse de filtration de 0.75 m/h.

Chaque unitè de PFH a les dimensions suivantes :

capacitè nominale finale	$Q = 150 \text{ m}^3/\text{jour} = 6.25 \text{ m}^3/\text{heure}$
capacitè nominale, première ètape	$Q = 100 \text{ m}^3/\text{jour} = 4.2 \text{ m}^3/\text{heure}$
vitesse de filtration	$v_F = 0.75 \text{ m/heure}$

section en travers nèceaire pour $6.25 \text{ m}^3/\text{heure}$	$A = 6.25 : 0.75 = 8.33 \text{ m}^2$
---	--------------------------------------

admettons 3 unitès de PFH	$H = 1.2 \text{ m}$	
profondeur des prèfiltres	$W = 2.4 \text{ m}$	
largeur des prèfiltres		
longueur des compartiments filtrants/taille des graviers	$L_1 = 4 \text{ m}$	$d_g = 15 \text{ mm}$
	$L_2 = 2 \text{ m}$	$d_g = 10 \text{ mm}$
	$L_3 = 1 \text{ m}$	$d_g = 5 \text{ mm}$
longueur totale des prèfiltres	$L = 7 \text{ m}$	

ètape 1	2 unitès de PFH
ètape 2	3 unitès de PFH au total

contrôle :

vitesse de filtration	$v_F = \frac{6.25}{3 \cdot 1.2 \cdot 2.4} = 0.72 \text{ m/heure}$
-----------------------	---

Des èconomies lors du dimensionnement des prèfiltres sont principalement obtenues par une rèdection de leur longueur. Les longueurs admises pour les diffèrents compartiments filtrants sont au niveau des limites les plus faibles. Ce dimensionnement minimum des prèfiltres peut ètre compensè par l'installation d'un systèmè de lavage hydraulique efficace. En lavant hydrauliquement et pèriodiquement les prèfiltres, la quantitè de matières solides accumulèes dans les PFH (charge du prèfiltre) restera faible (par exemple, infèrieure à 10 g/l).

Le rendement du PFH peut ètre dètèrminè par la valeur-E prèsentèe dans l'annexe 1. La concentration en matières en suspension dans l'effluent du PFH est dètèrminèe graphiquement à l'aide du nomogramme, ou analytiquement en multipliant les valeurs-E par la concentration à l'entrèe du PFH.

Le tableau de l'annexe 1 donne les valeurs-E suivantes pour notre exemple de dimensionnement :

vitesse de filtration $v_F = 0.75$ m/heure

taille des graviers	longueur du compartiment filtrant	valeur-E (%)
15 mm	4 m	15.2
10 mm	2 m	25.7
5 mm	1 m	28.3

En conséquence, pour une concentration maximum en matières en suspension admise à 300 mg/l dans l'eau brute précantée, la concentration de l'effluent du PFH est de :

$$C_e = 300 * 0.152 * 0.257 * 0.283 = 3.3 \text{ mg/l}$$

La solution graphique illustrée par la fig. 29 donne une valeur similaire.

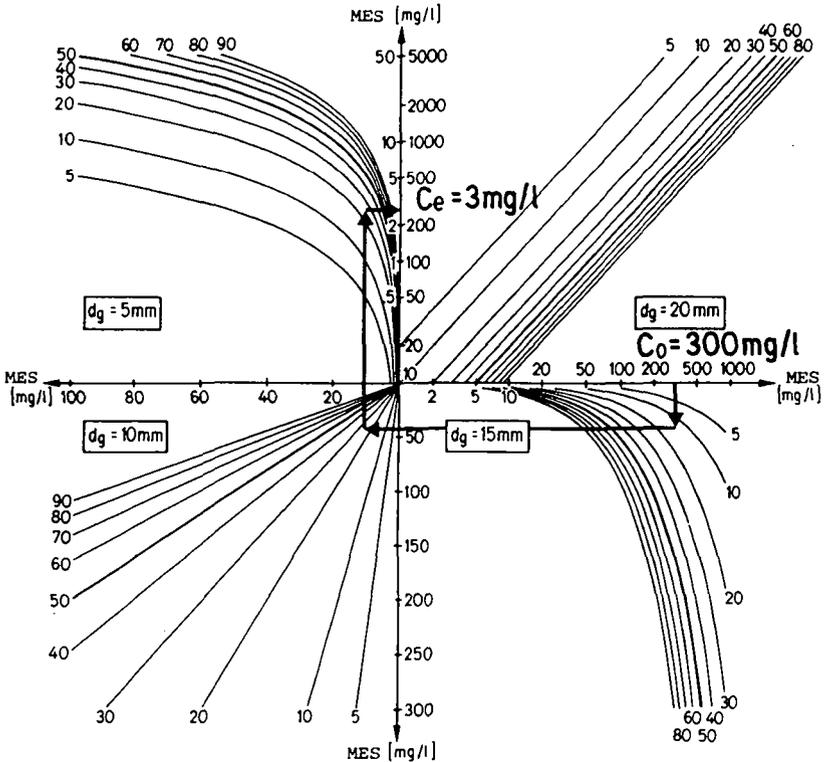


Fig. 29 Nomogramme pour estimer le rendement d'un préfiltre

Conformément à cette estimation, le dimensionnement choisi pour les PFH permet juste d'atteindre les normes requises pour le FLS. Toutefois, il faut souligner que ces considérations ne sont valables que pour un préfiltre relativement propre et pour des matières en suspension ayant des caractéristiques similaires à la suspension de kaolin décrite dans l'annexe 1.

L'intervalle de temps entre deux lavages du préfiltre est déterminé par l'équation décrite à la page 51. Avec une concentration moyenne en matières en suspension admise à 200 mg/l dans l'eau brute prédécantée et une charge maximum du préfiltre de 10 g/l dans le premier compartiment filtrant, la période de fonctionnement du préfiltre entre deux lavages hydrauliques est de :

$$T_{\text{run}} = 1\ 700 * \frac{10 * 4}{(200 - 30) * 0.75} = 310 \text{ heures} \approx 13 \text{ jours}$$

avec $C_e = 200 * 0.152 = 30 \text{ mg/l}$ (concentration en matières en suspension à la sortie du premier compartiment filtrant)

Durant la saison sèche et avec une concentration en matières en suspension admise à 30 mg/l dans l'eau brute prédécantée, l'intervalle de temps entre deux lavages devrait être de 90 jours.

Les caractéristiques utilisées pour la conception du PFH dans notre exemple de dimensionnement sont également introduites dans le programme informatique de l'EAWAG développé pour la modélisation dynamique d'un PFH. Quelques résultats graphiques de cette simulation du fonctionnement du PFH dimensionné sont présentés dans les fig. 30 et 31.

La fig. 30 montre la variation de la concentration en matières en suspension dans l'effluent et de la charge du préfiltre durant la saison des pluies. Comme on le voit dans le graphique de gauche, la concentration en matières en suspension admise dans l'eau brute prédécantée est de 200 mg/l, avec une pointe à 300 mg/l du troisième au neuvième jour. La concentration en matières en suspension calculée dans l'effluent du PFH augmente de 3 à 5 mg/l pendant la période simulée. C'est donc légèrement plus élevé que l'estimation faite avec les valeurs-E. Le graphique de droite montre clairement que la majeure partie des matières en suspension sont retenues dans le premier compartiment filtrant. Comparée à celle des deuxième et troisième compartiments filtrants remplis de graviers moyens et fins, respectivement, la charge du premier compartiment, rempli de graviers grossiers, augmentent considérablement. Ces matériaux filtrants grossiers doivent être lavés environ tous les 11 jours si l'on ne veut pas dépasser la charge admissible de 10 g/l.

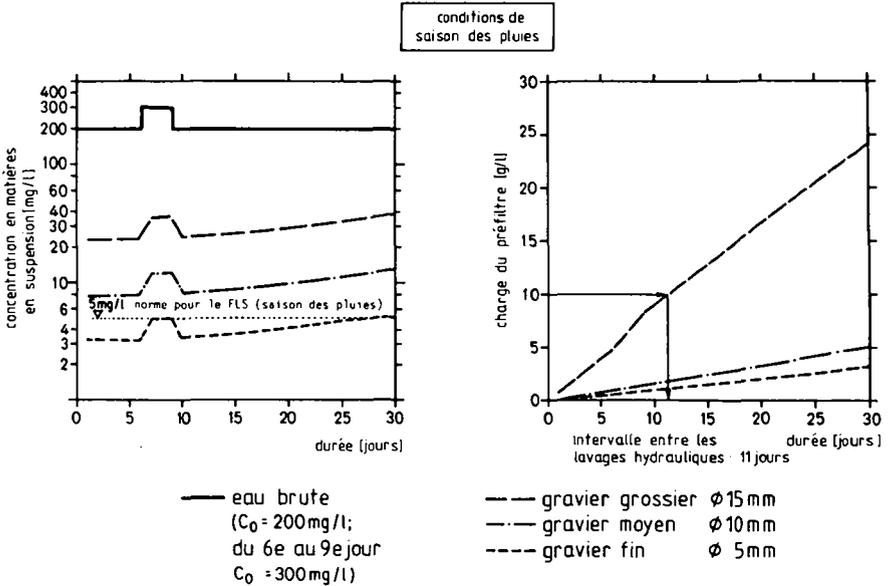


Fig. 30 Concentration en matières en suspension et charge du préfiltre pendant la saison des pluies

La fig. 31 illustre les conditions durant la saison sèche où la concentration en matières en suspension dans l'eau brute prédécantée a été maintenue constante à 30 mg/l. La concentration dans l'effluent du PFH est ainsi inférieure à 1 mg/l. La plupart de matières en suspension sont retenues dans le premier compartiment filtrant qui devrait être lavé hydrauliquement environ tous les 85 jours pendant la saison sèche.

Comme nous l'avons déjà indiqué lors des différentes phases de calculs, le dimensionnement proposé pour le PFH, avec des longueurs de compartiments filtrants minimum, nécessite un système efficace de lavage hydraulique. La meilleure solution consiste à construire un faux-plancher au fond du premier compartiment filtrant du PFH. Une autre solution consisterait à utiliser des rigoles préfabriquées. Celles-ci facilitent la construction du compartiment filtrant, par contre elles risquent de rendre moins efficace le lavage hydraulique. Des explications supplémentaires pour le contrôle du débit et les structures d'entrée et de sortie du PFH ne sont pas nécessaires. Les plans du PFH que nous venons de dimensionner sont présentés dans l'annexe 4.

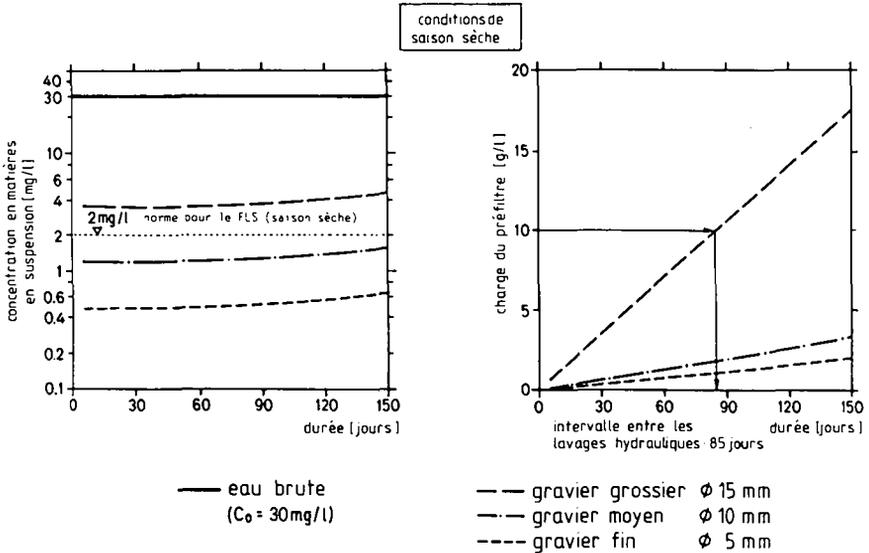


Fig. 31 Concentration en matières en suspension et charge du préfiltre pendant la saison sèche

Dimensionnement du FLS

Dans notre exemple de dimensionnement, nous avons utilisé les valeurs de dimensionnement décrites précédemment. Elles nous ont permis d'obtenir les résultats suivants :

capacité nominale finale
 capacité nominale, première étape
 vitesse de filtration
 surface de lit filtrant nécessaire
 pour $6.5 \text{ m}^3/\text{heure}$

$Q = 150 \text{ m}^3/\text{jour} = 6.25 \text{ m}^3/\text{heure}$
 $Q = 100 \text{ m}^3/\text{jour} = 4.2 \text{ m}^3/\text{heure}$
 $v_F = 0.1 \text{ m/heure}$

$$A = 6.25 : 0.1 = 62.5 \text{ m}^2$$

admettons 3 unités de FLS

longueur du lit filtrant
 largeur du lit filtrant

$L = 4.6 \text{ m}$
 $W = 4.6 \text{ m}$

étape 1

2 unités de FLS

étape 2

3 unités de FLS au total

contrôle :

vitesse de filtration

$$v_F = \frac{6.25}{3 * 4.6 * 4.6} = 0.1 \text{ m/heure}$$

vitesse de filtration pendant le nettoyage d'une unité de FLS

étape 1

$$v_F = 0.2 \text{ m/heure}$$

étape 2

$$v_F = 0.15 \text{ m/heure}$$

Le débit traversant le FLS est contrôlé par le déversoir en V de la chambre de distribution. Le filtre, qui fonctionne avec un niveau constant de l'eau surnageante, se comporte donc comme un système auto-régulé, c'est-à-dire que le niveau de l'eau augmente au fur et à mesure que la perte de charge augmente. Etant donné que la crête du déversoir de sortie est au même niveau que le sommet de la couche de sable, il n'est pas possible d'avoir des pressions négatives à l'intérieur du filtre. Enfin, une interconnexion entre les tuyaux des effluents et les différentes unités de FLS permet un remplissage du lit filtrant de bas en haut avec de l'eau. Cette opération, importante, chasse l'air contenu dans le lit filtrant, réduit la perte de charge initiale du filtre et répartit également la charge du filtre. Les caractéristiques principales de ce FLS sont présentées dans l'annexe 5.

Chambre de distribution

Tout le débit traversant la station de traitement est concentré, contrôlé et réparti entre les différentes unités de filtres par les chambres de distribution. Deux chambres sont nécessaires dans notre exemple, la première avant le PFH et l'autre après. Des détails structuraux supplémentaires sur les chambres de distribution sont donnés dans l'annexe 3.

Aménagement de l'installation de traitement

L'aménagement général de la station de traitement de notre exemple est illustré par la fig. 32. L'ensemble de la station requiert une surface d'environ 25 x 25 m. Elle devrait si possible avoir une légère pente de 1:5-1:10 pour faciliter l'écoulement gravitaire entre les installations et réduire les travaux d'excavation.

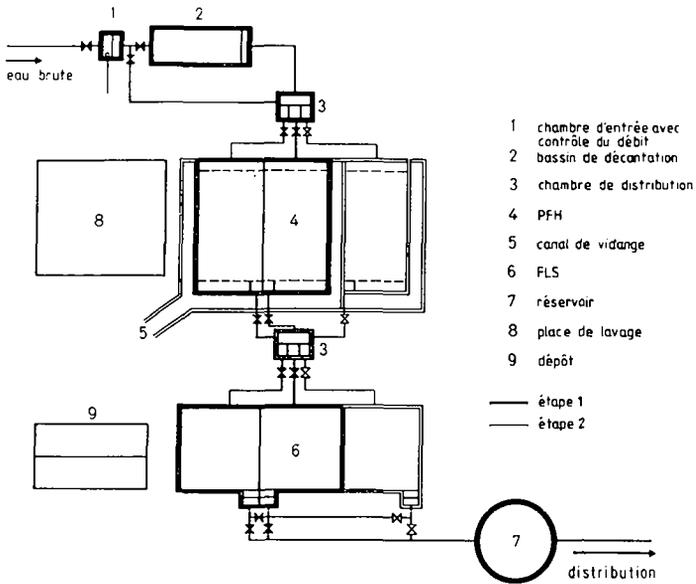


Fig. 32 Aménagement de la station de traitement

L'eau s'écoule gravitairement à travers la station de traitement. La perte de charge totale est d'environ 2.5 m. Des pertes de charge maximum de 30 cm. pour le PFH et de 100 cm. pour le FLS sont comprises dans ce nombre. Les 1.2 m. restant sont nécessaires pour permettre la surverse des 4 déversoirs et les pertes de charge par frottement dans les tuyaux.

Des installations annexes, telles qu'une place de lavage pour les graviers et le sable et un bâtiment pour le stockage des outils et des équipements de mesures sont nécessaires. Enfin, un système de drainage suffisant pour l'évacuation des eaux de lavage doit exister .

Réseau de distribution

Une grande quantité de l'eau traitée, produite à un débit constant tout au long de la journée, n'est consommée que durant certaines heures de pointe, le matin et en fin d'après-midi. Un réservoir de stockage est donc nécessaire avant le réseau de distribution. L'eau traitée est distribuée aux consommateurs soit par un réseau complet, soit par un réseau partiel.

Réservoir d'eau claire

Le volume du réservoir dépend de la répartition journalière des besoins en eau. Un volume de stockage égal à 30-50% de la production journalière est normalement suffisant. Un réservoir d'eau claire d'environ 50 m³ devrait donc suffire pour satisfaire les besoins des étapes 1 et 2 de notre exemple.

Réseau complet de distribution

Des borne-fontaines publiques sont généralement utilisées dans les régions rurales alimentées en eau par un réseau complet de distribution. Un robinet d'une borne-fontaine peut desservir jusqu'à 150 personnes. En général deux robinets équipent chaque borne-fontaine. Ainsi, un total de 11 borne-fontaines publiques est nécessaire pour alimenter les 3300 personnes de la première étape de notre exemple de dimensionnement. Un bon drainage des eaux usées autour de la borne-fontaine est essentiel pour maintenir propre l'emplacement du point d'eau.

Réseau partiel de distribution

Un réseau partiel faisant partie d'un réseau plus vaste d'alimentation en eau par pompage peut fonctionner sans apport externe d'énergie. Dans un réseau partiel, l'eau traitée coule par gravité jusqu'à un certain nombre de citernes situées entre la station de traitement et le village. Ces citernes servent de petits réservoirs tampon et amortissent les fluctuations entre les besoins journaliers en eau et la production de la station de traitement. La construction d'un réservoir d'eau claire indépendant peut ainsi être évitée. Chaque citerne est équipée de deux pompes à main. Conformément aux expériences pratiques, chaque pompe à main peut alimenter jusqu'à 250 personnes.

Dans notre exemple de dimensionnement, 7 citernes sont nécessaires pour alimenter les 3300 personnes. Si le volume total de stockage doit être de 50 m³, chaque citerne doit donc avoir un volume de 7 m³. Quelques lavoirs avec leurs propres structures de drainage devrait compléter ce réseau partiel de distribution, car une partie de l'eau pompée servira à des activités de nettoyage effectuées à proximité de la citerne. Un aménagement possible d'un tel réseau partiel est illustré par la fig. 33.

L'exemple de dimensionnement présenté est résumé dans le formulaire de dimensionnement du tableau 6. Ce formulaire est également joint à ce manuel à l'annexe 6. Un nomogramme supplémentaire pour votre usage personnel se trouve à la page 80.

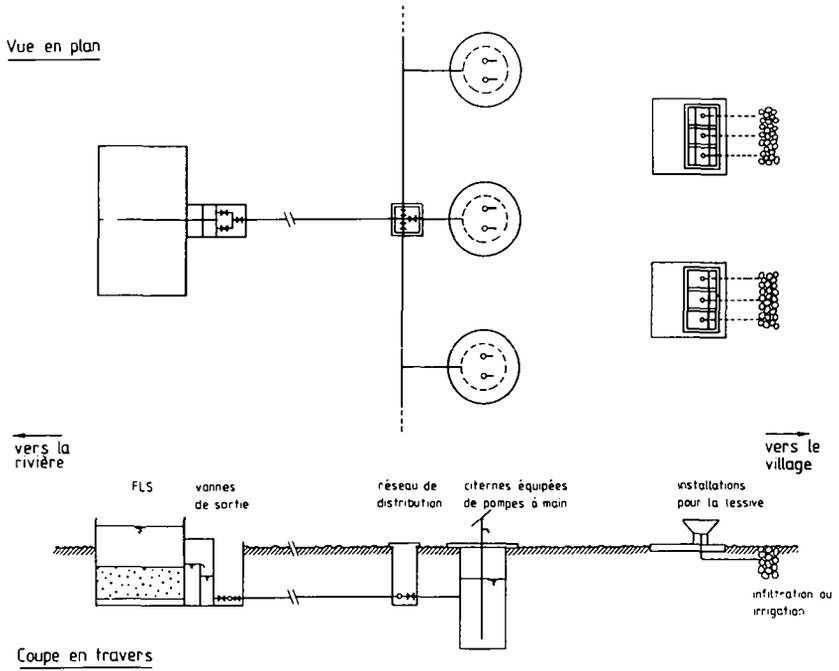


Fig. 33 Concept d'un réseau partiel de distribution

Tableau 6 Formulaire de dimensionnement de l'exemple calculé dans ce manuel

FORMULAIRE DE
DIMENSIONNEMENT

nom du système d'alimentation en eau: exemple de dimension-
District/Région: ment

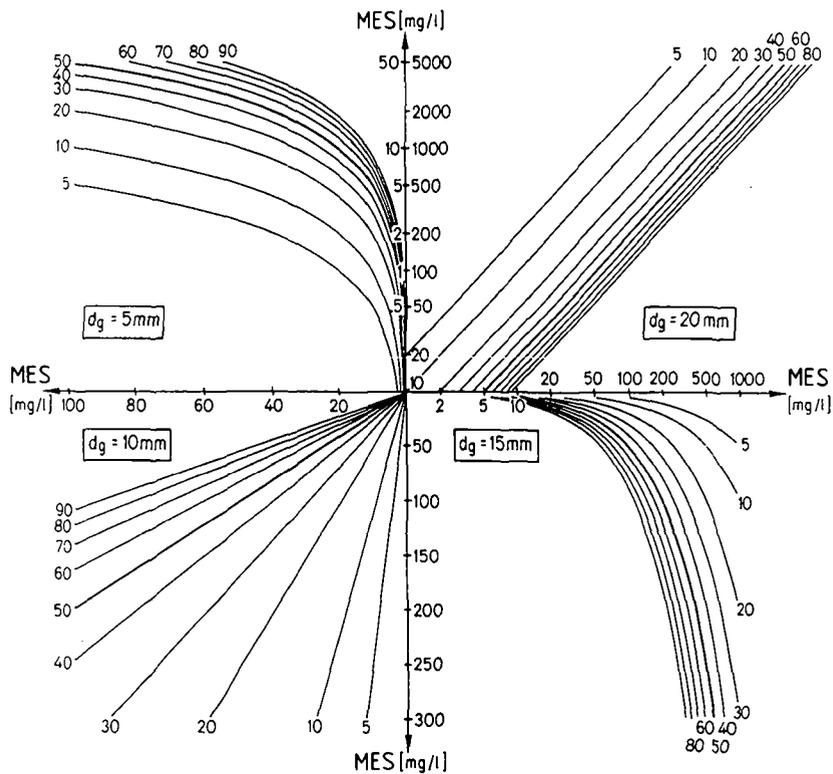
Calculé par: M. Wegelin
Date: janvier 1986

1. Source (point d'eau)	saison		dimen- sions	5. Besoins en eau	présent		futur	dimen- sions
	sèche	pluvieuse			étape 1	étape 2		
débit	50	1000	l/s	population	2'200	3'300	....	hab.
turbidité	30 - 50	300 - 500	TU	besoins journ. par hab.	..35	..30	....	l/h.j
filtrabilité	100 - 150	20 - 50	ml/3 min	besoins journ. de la populat.	....	300	300	m ³ /j
conc. mat. en susp.	20 - 50	200 - 500	mg/l	besoins supplés. pour .....	....	....	....	m ³ /j
mat. organiques (MNO ₅ , DCO ³)	4 - 6	2 - 4	mg/l	pop. + norme. . . (spécifiez)	....	....	..50	m ³ /j
mes. bact. (E.coli ³ , Streptococcus)	500 - 10000	/100 ml		besoins journ. totaux	..33	100	150	m ³ /j
2. Autre source	disponible oui ^a /non ^a nom:			6. Alimentation en eau brute	écoulement gravitaire → continuez en 7.1			
de meilleure qualité oui ^a /non ^a	type de source: PAV souterraine			débit de la pompe à poser	..2,5	5,2		l/s
coûts de constr. plus élevés ^a /plus faibles ^a	remarques: PAV, système; 800 ps./l/1			nombre de pompes	..2,.	3,.		-
				volume du réservoir d'eau brute	100.	100.		m ³ /j
					→ continuez en 7.2			
3. Système d'alimentation en eau	(système gravitaire/système pompé ^a : pompes mécaniques ^a (pompes à main) ^a)			7. Traitement	valeurs de dimension.			
4. Heures journalières de fonctionnement	de la station de pompage d'eau brute . . . 8 . . heures/jour			7.1 bassin de décantation	(0,5)	(10,8)	(10,8)	m/h
station de traitement continu	inter- vitesse			charge superficielle	(2,5)			m ²
	mittent décroissante			surface nécessaire		(16)	(16)	m ³
	[....h/j] [....h/j]			temps de rétention		(11)	(11)	heures
bassin de décantation	[A]			volume nécessaire				-
PFH	[2]			nombre d'unités				-
FLS	[3]			dimensions d'1 unité				-
				longueur	(8,0)			m
				largeur	(1,5)			m
				profondeur	(1,8)			m
9. Profil hydraulique				7.2 PFH				
				vitesse de filtration	0,25			m/h
				section de préfiltr. néces.		5,6.	8,8.	m ²
				nombre d'unités		2,.	3,.	-
				dimensions d'1 unité				-
				largeur	2,8			m
				profondeur	1,2			m
				longueur				-
				taille des . . . mm				m
				graviers .15. mm	..4.			m
				.10. mm	..2.			m
				.8. mm	..1.			m
10. Situation				7.3 FLS				
				vitesse de filtration	0,1.			m/h
				surface de filtre nécessaire		92.	62,5	m ²
				nombre d'unités		..2.	3,.	-
				dimensions d'1 unité				-
				longueur	4,6			m
				largeur	4,6			m
				8. Distribution				
				8.1 rés. complet de distribution				
				volume du réservoir		50.	50.	m ³
				nombre d'unités		..1.	..1.	-
				8.2 rés. partiel de distribution				
				hab. par pompe à main	(280)			hab.
				nb. de pompes à main néces.		(14)	....	-
				volume d'1 citerne	(2)			m ³
				nombre de citernes		(2)	....	-

^abiffez ce qui ne convient pas

remarques: les expressions entre () constituent des variantes en option de cet exemple de dimensionnement

Nomogramme pour le dimensionnement d'un PFH



êtes-vous convaincu par le PFH ?

8. CONCLUSIONS ET REMARQUES FINALES

Si vous avez atteint cette partie du manuel, vous êtes soit un lecteur expérimenté qui consulte d'abord les résumés et les conclusions d'une publication, soit une personne ayant un réel intérêt pour la technologie du PFH. Après avoir donné suffisamment de preuves en faveur du PFH, ce manuel conclura avec quelques remarques importantes sur l'alimentation en eau dans les pays en développement et attirera l'attention sur quelques aspects mineurs du PFH.

1. **Il ne suffit pas de lire des publications pour que de l'eau atteigne la population.** Ce manuel présente donc une technologie à appliquer dans le terrain. Il n'a pas été conçu juste pour le plaisir de l'esprit ou pour être rangé dans une bibliothèque. Le lecteur est donc gentiment prié **d'agir**, dans le cadre de son champ d'activité, pour la promotion et l'implémentation de technologies appropriées.
2. Approprié signifie adapté aux conditions locales. Ainsi, **aucune technologie n'est universellement appropriée.** Ceci est également vrai pour le FLS. Son fonctionnement souvent défectueux dans les pays en développement est principalement dû à une qualité inappropriée de l'eau brute.
3. Une charrette rurale sera difficilement tirée par une voiture de course, mais de préférence par un âne, un boeuf ou un cheval. Des **niveaux de technologie équivalents** constituent un facteur critique de la viabilité d'un projet. Par exemple, une eau insuffisamment floculée et décantée créera des problèmes de fonctionnement du FLS. De l'eau brute prétraitée par une infiltration dans les rives de la rivière, des préfiltres verticaux ou des PFH satisfera généralement les normes requises pour le FLS.
4. Vous ne vous laverez jamais avec du champagne. **Les besoins réels et les aspects économiques** constituent des facteurs décisifs lors de la sélection d'un système d'alimentation en eau. L'association du PFH et du FLS forme une combinaison fascinante de traitement car elle est fiable, indépendante et reproductible à volonté. Toutefois, les filtres nécessitent d'importants travaux de construction. Ils ne devraient être utilisés que si aucune autre source d'eau de meilleure qualité n'est disponible et si le traitement de l'eau est indispensable.

5. Ce manuel est un document technique. L'alimentation en eau est comme les ordinateurs, tous les deux dépendent **du matériel et de l'exploitation qui en est faite**. Les utilisateurs d'un système d'alimentation en eau doivent prendre des décisions, collaborer et entretenir les installations. Les aspects socioculturels doivent être intégrés au projet. Le degré de formation, le support et l'assistance de l'exploitant local influencent considérablement la longévité des installations d'alimentation en eau.

6. **La technologie du PFH présentée dans ce manuel est encore en perfectionnement**. Le PFH est utilisé en Europe depuis plus de 25 ans, mais seulement depuis quelques années dans les pays en développement. Des projets de démonstration sont en cours pour introduire cette technologie en Amérique Latine, en Afrique et en Asie. On rassemble actuellement des expériences pratiques supplémentaires sur la conception économique, le lavage hydraulique, l'utilisation des techniques de construction locales et d'autres matériaux filtrants. **Le présent manuel n'est donc qu'une première ébauche pour vous aider à dimensionner, construire et exploiter un PFH.**

7. L'IRCWD, à Duebendorf/Suisse, dirige le projet de démonstration. L'expérience pratique acquise sur le PFH dans les différents pays en développement constitue un **réservoir d'informations disponibles à l'IRCWD**. Le centre en Suisse peut vous fournir une assistance technique au sujet d'un PFH et pourrait vous aider à obtenir une aide financière de la Direction de la coopération suisse au Développement et de l'Aide humanitaire pour la construction d'un PFH.

8. L'échange d'informations devrait être réciproque. **Il est essentiel de connaître le résultat de vos expériences**. L'IRCWD espère donc recevoir vos avis au sujet de ce manuel et surtout les résultats de vos expériences avec le PFH, éventuellement en combinaison avec un FLS.

L'approvisionnement en eau sûre est un défi. L'IRCWD vous souhaite beaucoup de succès dans vos efforts pour atteindre ce but.

Bibliographie

- (1) La filtration lente sur sable pour l'approvisionnement en eau collective dans les pays en développement, Technical Paper 11, IRC, The Hague/NL
- (2) Horizontal-flow Roughing Filtration : An Appropriate Pretreatment for Slow Sand Filters in Developing Countries, M. Wegelin, IRCWD News No. 20, 1984
- (3) Horizontal-flow Coarse-Material Prefiltration, N.C. Thanh and E.A.R. Ouano, AIT, Research Report No. 70, 1977
- (4) Surface Water Filtration for Rural Areas, N.C. Thanh and J. Hettiaratchi, Ensic, Bangkok/Thailand, 1982
- (5) Slow Sand Filter Research Report No. 1, 2 and 3, M. Wegelin and T.S.A. Mbwette, University of Dar es Salaam, 1980 and 1981
- (6) Horizontal-flow Roughing Filters for Rural Water Treatment in Tanzania, T.S.A. Mbwette, M. Thesis, University of Dar es Salaam/Tanzania, 1983
- (7) Particle Removal by Horizontal-flow Roughing Filtration, M. Wegelin, M. Boller and R. Schertenleib, AQUA, 3/1986
- (8) Horizontaldurchflossene Kiesvorfilter zur Vorreinigung von Oberflächenwasser, besonders in Entwicklungsländern, E. Trueb, 3R International, 1/2 1982
- (9) Process Aids for Slow Sand Filtration, M. Pardon, D. Wheeler and B. Lloyd, Waterlines, 2/1983
- (10) Rural Water Treatment Package Plant, D. Wheeler, C. Symonds, B. Lloyd and M. Pardon, Progress Report II for ODA, 1983
- (11) Slow Sand Filter Design and Construction in Developing Countries, R. Paramasivan, V. Mhalsalkar and P. Berthouex, JAWWA, 4/1981
- (12) Guidelines for Operation and Maintenance of Slow Sand Filtration Plants in Rural Areas of Developing Countries, Occasional Paper Series, IRC, The Hague

Abréviations

PFH	Préfiltre à Flux Horizontal
FLS	Filtre Lent à Sable
NTU	Unité de turbidité néphélométrique
AIT	Institut asiatique de technologie
CEPIS	Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente
DANIDA	Agence danoise pour le développement international
EAWAG	Institut fédéral suisse pour l'aménagement, l'épuration et la protection des eaux
ETH	Ecole polytechnique fédérale suisse
IRC	Centre international de référence pour l'approvisionnement en eau collective et l'assainissement
IRCWD	Centre international de référence pour la gestion des déchets
NORAD	Agence norvégienne pour le développement international
SATA	Association suisse pour l'assistance technique
DDA	Direction de la coopération suisse au développement et de l'aide humanitaire
SKAT	Centre suisse pour la technologie appropriée

Table des matières détaillée

page

<u>Partie A</u> 0. Résumé	1
Dessins animés	3
<u>Partie B</u> 1. Introduction et identification du problème	5
prétraitement conventionnel	8
autre solution de prétraitement : le PFH	8
fondement historique du PFH	9
2. Principales caractéristiques et conception d'un PFH	11
variables de dimensionnement	12
caractéristiques de l'eau brute	14
aspects du dimensionnement	14
normes de dimensionnement	15
hauteur et largeur	16
contrôle du débit et de la perte de charge	17
3. Conception des installations de traitement de l'eau	21
considérations générales	21
galerie ou tranchée d'infiltration	23
élimination des matériaux grossiers	24
aération	26
le PFH comme prétraitement	27
le FLS pour le traitement principal	28
la désinfection de l'eau	29
le stockage de l'eau	29
la distribution de l'eau	30
4. Construction d'un PFH	33
emplacement de l'installation de filtration	33
matériaux de construction du bassin de filtration	34
matériaux filtrants	34
murs de séparation	37
structures d'entrée et de sortie	37
système de vidange	38
5. Exploitation et maintenance d'un PFH	41
mise en service du préfiltre	41
diagramme d'écoulement	41
contrôle du débit	43
contrôle de la qualité de l'eau	44
détermination de la perte de charge du préfiltre	48
nettoyage du préfiltre	50
maintenance du préfiltre	56

6. Considérations économiques	58
répartition des coûts de construction d'un PFH et coûts spécifiques	58
comparaison des coûts spécifiques d'un PFH et d'un FLS	59
comparaison entre les investissements pour l'installation de traitement et les coûts des tuyaux	60
comparaison des coûts entre un PFH et une floculation/décantation	61
coûts d'exploitation d'un PFH	61
répartition des coûts entre monnaie locale et étrangère	62
7. Exemple de dimensionnement	64
besoins en eau	64
conception générale d'un système d'alimentation en eau	65
alimentation en eau brute	66
traitement de l'eau	67
bassin de décantation	68
dimensionnement du PFH	69
dimensionnement du FLS	74
chambre de distribution	75
aménagement de l'installation de traitement	75
réseau de distribution	76
réservoir d'eau claire	77
réseau complet de distribution	77
réseau partiel de distribution	77
8. Conclusions et remarques finales	81
Bibliographie	83
Abréviations	84
Table des matières détaillée	85
<u>Partie C</u> Annexes	87
1 Nomogramme pour le dimensionnement d'un PFH	
2 Méthodes simples d'analyse de la qualité des eaux	
3 Méthodes simples de mesure du débit	
4 Détails constructifs d'un PFH	
5 Données principales et caractéristiques d'un FLS	
6 Formulaire de dimensionnement	
7 Programme de formation des exploitants	
8 Programme de contrôle pour PFH et FLS	
9 Exemples d'application de PFH	

Annexes

- 1 Nomogramme pour le dimensionnement d'un PFH
- 2 Méthodes simples d'analyse de la qualité des eaux
- 3 Méthodes simples de mesure du débit
- 4 Détails constructifs d'un PFH
- 5 Données principales et caractéristiques d'un FLS
- 6 Formulaire de dimensionnement
- 7 Programme de formation des exploitants
- 8 Programme de contrôle pour PFH et FLS
- 9 Exemples d'application de PFH

Annexe 1 :

Nomogramme pour le dimensionnement d'un PFH

1. Introduction

Les tableaux 2 et 4 de la partie B de ce manuel fournissent des lignes directrices générales pour le dimensionnement d'un PFH. Les vitesses de filtration et les longueurs des compartiments filtrants sont données dans une certaine fourchette. Le responsable du dimensionnement peut toutefois être intéressé par des informations plus détaillées sur le dimensionnement. Par exemple, il pourrait vouloir connaître l'effet du doublement de la longueur du premier compartiment filtrant sur la qualité de l'effluent du PFH. Un outil supplémentaire de dimensionnement est donc présenté sous la forme d'une approche par les valeurs-E.

2. Bases théoriques

"Valeur-E" signifie valeur d'Efficacité ou de rendement. Cette valeur-E décrit les performances du préfiltre quant à la séparation des matières solides en suspension. Sur la base de la théorie des filtres en vigueur, le rendement d'un filtre peut être représenté par le coefficient de filtre λ [/cm] et calculé par l'équation d'Iwasaki :

$$\frac{dC}{dx} = -\lambda * C$$

Où C est la concentration en matières solides et x la profondeur du filtre. Le coefficient de filtre λ est fonction du diagramme d'écoulement, des matériaux filtrants et des propriétés physiques de l'eau et des particules en suspension.

$$\lambda = f(v_F, d_g, \rho_g, d_p, \rho_p, v_w)$$

Alors que le volume de matières solides retenues augmente avec la durée de fonctionnement, la porosité du filtre décroît avec le temps. Le degré de colmatage du filtre peut être représenté par sa charge σ [g/l], soit la masse de matières déposées par unité de volume de lit filtrant. La charge du filtre varie avec la position x dans le filtre aussi bien qu'avec le temps de filtration t écoulé. Le coefficient de filtre λ est donc aussi une fonction de :

$$\lambda = f(x, \sigma)$$

Les corrélations entre le coefficient de filtre λ et les différents paramètres mentionnés ont été étudiées lors de tests de laboratoire avec une suspension de kaolin. Des résultats détaillés supplémentaires sont présentés dans (7).

On admettra une valeur constante pour λ pour une taille des particules d_p et une concentration ρ_p en matières en suspension constantes, de même pour une charge du filtre σ uniforme sur une longueur de filtre l_f considérée.

Ces hypothèses simplifient beaucoup les conditions réelles de filtration, mais elles permettent d'intégrer l'équation d'Iwasaki, soit :

$$C_{out} = C_{in} * e^{-\lambda * l_f}$$

3. Conditions particulières

Le rendement du filtre peut ainsi être déterminé pour certaines conditions particulières et simplifiées de son fonctionnement. Dans ce but, le rendement est défini comme :

$$E = \frac{C_{out}}{C_{in}} = e^{-\lambda * l_f}$$

il a été calculé pour les conditions suivantes :

suspension	kaolin dilué dans de l'eau souterraine pour les tests de laboratoire (7)
taille des particules	$d_p = 2 \mu\text{m}$
charge du filtre	$\sigma = 20 \text{ g/l}$
vitesse de filtration	$v_F = 0.5, 0.75, 1.0, 1.5, 2.0 \text{ m/h}$
taille des matériaux filtrants	$d_g = 5, 10, 15, 20 \text{ mm}$
porosité initiale	$p_0 = 35\%$

Les valeurs-E pour ces conditions particulières sont données dans le tableau 7 pour différentes vitesses de filtration v_F , longueurs des compartiments filtrants l_f et tailles des matériaux filtrants d_g . La concentration en matières en suspension dans l'effluent d'un compartiment filtrant peut ainsi facilement être déterminée par l'équation :

$$C_{out} = C_{in} * E$$

$$E = \frac{C_e}{C_o} = e^{-\lambda * l_f} \quad [\%]$$

taille des matériaux filtrants d_g	vitesse de filtration v_F [m/h]	longueur des compartiments filtrants l_f [m]				
		1	2	3	4	5
5 mm	0.5	15.2	2.3	0.4	0.1	0.0
	0.75	28.3	8.0	2.3	0.6	0.2
	1	39.9	15.9	6.4	2.5	1.0
	1.5	59.0	34.8	20.5	12.1	7.2
	2	74.7	55.7	41.6	31.1	23.2
10 mm	0.5	35.6	12.7	4.5	1.6	0.6
	0.75	50.7	25.7	13.0	6.7	3.3
	1	61.7	38.1	23.5	14.5	9.0
	1.5	77.7	60.3	46.9	36.4	28.3
	2	89.5	80.2	71.8	64.3	57.6
15 mm	0.5	48.4	23.5	11.4	5.5	2.7
	0.75	62.4	39.0	24.3	15.2	9.5
	1	72.1	51.9	37.4	27.0	19.4
	1.5	85.4	72.9	62.2	53.1	45.3
	2	95.0	90.2	85.6	81.3	77.2
20 mm	0.5	56.9	32.4	18.4	10.5	6.0
	0.75	69.6	48.5	33.7	23.5	16.4
	1	78.1	61.0	47.6	37.2	29.0
	1.5	89.5	80.1	71.7	64.2	57.5
	2	97.7	95.4	93.2	91.0	88.9

Tableau 7 Valeurs-E pour un PFH

4. Solution numérique

La qualité de l'effluent des différents compartiments filtrants consécutifs peut être calculée de la façon suivante :

$$C_{out1} = C_{in} * E_1$$

$$C_{out2} = C_{in1} * E_2 = C_{out1} * E_2 = C_{in} * E_1 * E_2$$

$$C_{out3} = C_{in2} * E_3 = C_{out2} * E_3 = C_{in} * E_1 * E_2 * E_3$$

$$C_{out} = C_{in} * E_1 * E_2 * E_3 * E_4 \quad \text{pour un PFH formé de 4 compartiments filtrants}$$

5. Solution graphique

Un nomogramme a été développé pour estimer graphiquement la concentration en matières en suspension dans l'effluent du préfiltre. La forme particulière de ce nomogramme est due aux considérations suivantes :

- étant donné que la concentration de pointe en matières en suspension est généralement inconnue, elle devra être estimée. Cela est particulièrement vrai pour les concentrations supérieures à 300 mg/l. D'un autre côté, si les concentrations sont élevées, les taux de rabattement le seront aussi. On a donc utilisé une échelle logarithmique pour les concentrations supérieures à 300 mg/l.
- Il est possible de disposer de données de concentrations en matières en suspension comprises entre 50 et 300 mg/l. Une échelle normale a donc été choisie pour cet intervalle.
- Les concentrations de l'effluent d'un PFH doivent être faibles. Une échelle logarithmique a donc été choisie pour les concentrations comprises entre 0.1 et 50 mg/l pour augmenter la précision dans cette partie du graphique.

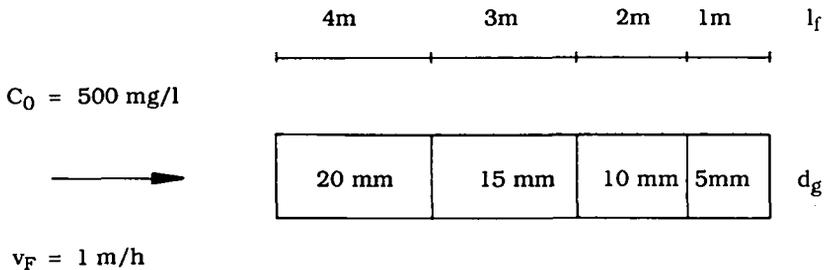
Les valeurs-E pour des hypothèses de dimensionnement bien déterminées sont données dans le tableau 7. Elles permettent de situer et de relier les différents points sur le nomogramme.

6. Exemple de dimensionnement

L'exemple suivant illustre l'utilisation du concept des valeurs-E :

concentration maximum en matières en suspension dans l'eau brute prédécantée 500 mg/l

hypothèse pour l'aménagement du PFH



Dans le tableau 7, on trouve les valeurs-E correspondantes suivantes :

37.2 pour le gravier de 20 mm	37.4 pour le gravier de 15 mm
38.1 pour le gravier de 10 mm	39.9 pour le gravier de 5 mm

La qualité de l'effluent du PFH peut ainsi être calculée de la façon suivante :

$$C_e = 500 * 0.372 * 0.374 * 0.381 * 0.399 = 9.6 \text{ mg/l}$$

Cette valeur ne satisfait pas les normes requises pour le FLS. En réduisant la vitesse de filtration à 0.75 m/h, le rendement du PFH augmentera. Sur la base du tableau 7, les nouvelles valeurs-E sont :

23.5 pour le gravier de 20 mm	24.3 pour le gravier de 15 mm
25.7 pour le gravier de 10 mm	28.3 pour le gravier de 5 mm

la concentration en matières en suspension dans l'effluent du PFH vaut alors :

$$C_e = 500 * 0.235 * 0.243 * 0.257 * 0.283 = 2.1 \text{ mg/l}$$

Ainsi, un PFH aménagé de cette façon et fonctionnant avec une vitesse de filtration de 0.75 m/h semble approprié et permet un rabattement de la concentration en matières en suspension à une valeur autorisant une application sûre du FLS. La solution de cet exemple de dimensionnement est aussi présentée graphiquement à la page I/7.

7. Examen critique

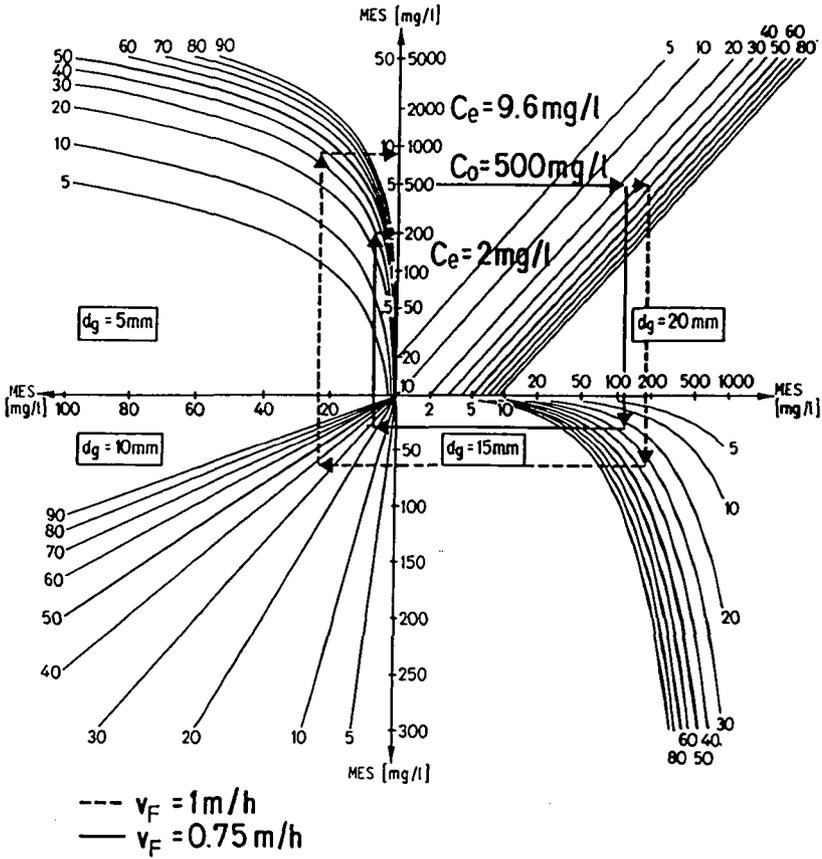
Remarquons que les "valeurs-E" présentées ont été introduites comme étant des valeurs d'efficacité ou de rendement. Le même "E" peut aussi vouloir dire Estimation. Les conditions réelles rencontrées dans un préfiltre sont grandement simplifiées et les matières en suspension présentes dans une rivière naturelle ne ressemblent pas forcément à la suspension de kaolin utilisée. Etant donné que cette méthode constitue plutôt un affinage des normes générales de dimensionnement présentées dans ce manuel (voir aussi les p. 16 et 36), elle ne fournira pas des résultats exacts.

Plus précisément, les résultats obtenus pour le premier compartiment filtrant sont en général plus faibles que la réalité. Une suspension naturelle n'a pas une granulométrie uniforme de $2\ \mu\text{m}$ telle qu'admise pour nos calculs, mais elle peut varier entre 20 et moins de $1\ \mu\text{m}$ dans l'eau précantée. Le premier compartiment filtrant va donc retenir les matériaux les plus grossiers et une petite partie des plus fins. La masse de matériaux retenus dans le cas d'une suspension naturelle peut donc être plus importante que dans celui d'une suspension uniforme.

Les conditions peuvent être complètement différentes pour les compartiments filtrants remplis de matériaux plus fins. Etant donné que les matières grossières ont déjà été retenues, les matières restantes auront une taille inférieure à $2\ \mu\text{m}$. En conséquence, le rendement de rabattement calculé pour ces compartiments pourrait être trop optimiste.

Toutefois, le rendement de rabattement global estimé pour la totalité du préfiltre sera probablement du même ordre de grandeur que celui observé dans la réalité. Cette méthode des valeurs-E peut donc être appliquée pour une première estimation du dimensionnement d'un PFH. Des informations plus détaillées peuvent être obtenues avec le programme informatique de simulation d'un PFH (voir aussi p. 16). Ce programme utilise la distribution granulométrique d'une suspension naturelle et un modèle dynamique pour déterminer l'accroissement de la charge du préfiltre ayant un nombre fini de compartiments filtrants.

Solution graphique de l'exemple de dimensionnement
(discuté aux pages 1/4 et 1/5)



Annexe 2 :

Méthodes simples d'analyse de la qualité de l'eau

1. Introduction

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

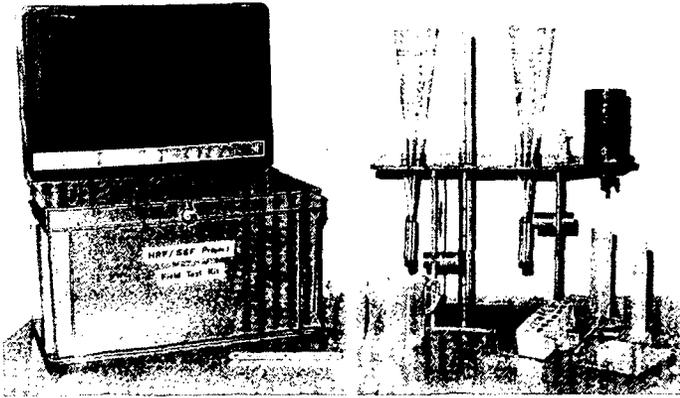
- disponibilité de seulement quelques laboratoires de contrôle de la qualité de l'eau dans le pays et difficultés de communication, voire de transport, entre le laboratoire et le terrain,
- analyses d'échantillons d'eau possibles seulement au laboratoire à cause du manque d'équipements de contrôle de terrain appropriés. Délais et manipulations sans précaution des échantillons pouvant conduire à des erreurs,
- indisponibilité de l'infrastructure de base (par exemple, alimentation en 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 désintérêt 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 le fonctionnement du PFH. La turbidité et la concentration en matières en suspension sont les deux paramètres principaux pour déterminer les performances d'un PFH. En outre, il pourrait se révéler intéressant de connaître le volume de matières décantables s'il n'y a pas de système de prétraitement avant le PFH (par exemple un bassin de décantation ou un réservoir d'eau brute). 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. L'IRCWD a développé un équipement de contrôle de terrain présenté sur la fig. 35 et contenant tout le matériel nécessaire pour mesurer la turbidité, la filtrabilité, les matières décantables et la stabilité de la suspension. Aucun produit chimique et aucune source d'énergie ne sont nécessaires pour effectuer ces mesures. Le seul élément extérieur qu'il faut fournir est le papier filtre pour la mesure de la filtrabilité.

Fig.35 Equipement de mesures de terrain
(développé par l'IRCWD)



cônes d'Imhoff
modifiés

(matières
décantables)

tube de
mesure

(turbidité)

appareil pour la mesure
de la filtrabilité

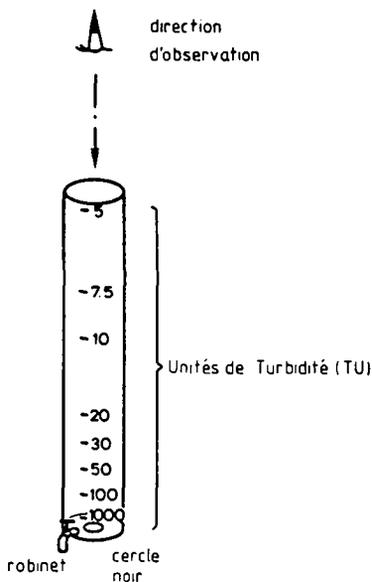
(concentration en mati-
ères en suspension)

2. Turbidité

La turbidité est déterminée à l'aide d'un tube de mesure développé par Del'Agua. La méthode et le tube sont inclus dans un équipement de terrain permettant d'effectuer des mesures bactériologiques (coliformes fécaux) et physico-chimiques (pH, conductivité, chlore). Des informations supplémentaires sur cet équipement de terrain peuvent être obtenues auprès de Del'Agua, P.O.Box 92, Guildford GU2 5TQ, Angleterre.

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
- contrôlez que le robinet est fermé
- versez lentement l'eau à analyser dans le tube de mesure en évitant les éclaboussures et la formation de bulles d'air. Remplissez le tube jusqu'à la marque 5
- placez-vous au-dessus du tube et regardez à l'intérieur en ouvrant le robinet
- fermez le robinet dès que vous voyez le cercle noir au fond du tube
- enregistrez le niveau de l'eau et écrivez-le sur le formulaire adéquat
- videz complètement le tube de toute l'eau y restant et lavez-le



Tube de mesure de la turbidité

3. Filtrabilité

La mesure de la concentration en matières en suspension, qui nécessite du matériel très précis, est remplacée par celle de la filtrabilité. Cette mesure fournit des valeurs relatives suffisantes pour contrôler le rendement de rabatement des matières en suspension d'un PFH.

Procédure à suivre pour la mesure de la filtrabilité :

- retirez l'entonnoir du porte-filtre en soulevant la pince

- mettez le porte-filtre sur le support

- fermez le robinet (position horizontale)

- remplissez le porte-filtre avec de l'eau

- mettez un papier-filtre No. 615 (Macherey-Nagel) sur le porte-filtre et pressez-le légèrement contre la 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 mettez-en un nouveau selon la procédure décrite

- analysez un second échantillon d'eau de la même façon

- si les résultats sont du même ordre de grandeur (écart de $\pm 20\%$), inscrivez-les sur le formulaire adéquat, 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



entonnoir

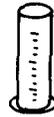


papier-filtre



porte-filtre

robinet



cylindre de mesure

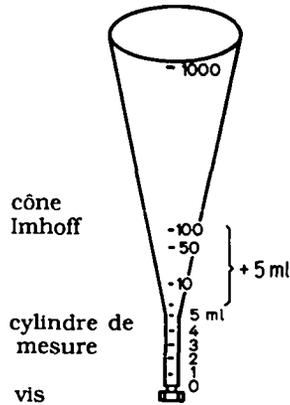
Équipement de mesure de la filtrabilité

4. 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. Avec cette mesure, la réduction de la porosité du préfiltre due à l'accumulation des matières solides dans le lit filtrant peut être déterminée par calcul.

Procédure à suivre pour la mesure des matières décantables :

- contrôlez que la vis est bien serrée
- mettez le cône Imhoff sur le support
- versez un litre d'eau à analyser dans le cône Imhoff
- notez sur le formulaire adéquat le volume de matières décantées après 15 min, 30 min, 1, 2, 4, 8 et 24 heures
- videz le cône Imhoff de l'eau y restant en dévissant la vis et lavez-le
- revissez la vis



Cône de mesure des matières décantables

5. Stabilité de la suspension

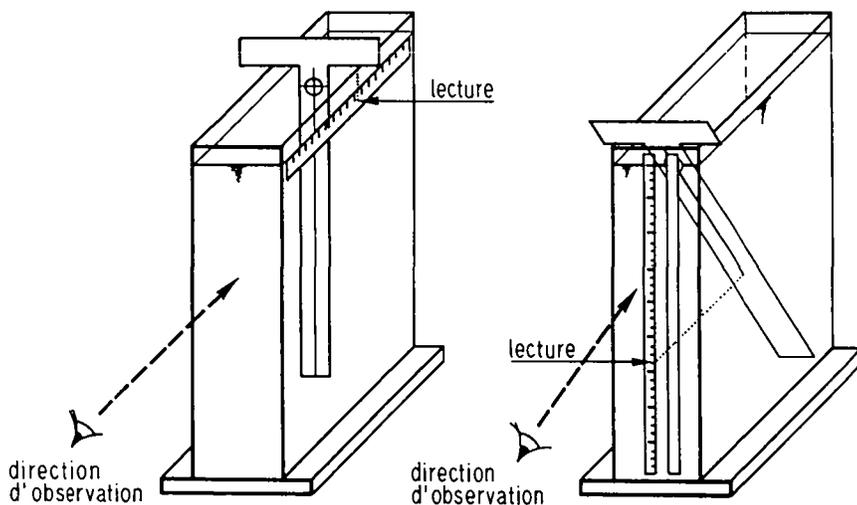
La stabilité d'une suspension et les propriétés de décantation des matières en suspension peuvent être déterminées à l'aide d'un test de décantabilité. L'enregistrement de la baisse de la turbidité en fonction du temps constitue la procédure de mesure la plus simple pour un tel test. Toutefois, l'extraction d'un peu d'eau pour la mesure de la turbidité au turbidimètre du commerce perturbe le processus de décantation en cours. En outre, une telle mesure est difficilement applicable sur le terrain. C'est pourquoi l'IRCWD a développé une procédure de mesure simple pour déterminer la stabilité d'une suspension. La turbidité initiale et son évolution au cours du temps sont mesurées à l'aide d'une méthode de terrain. Cette mesure ne nécessite ni produits chimiques ni source d'énergie.

Procédure à suivre pour la mesure de la stabilité d'une suspension :

- posez le récipient gradué de mesure de la stabilité d'une suspension sur une table bien stable. Les conditions de lumière doivent être uniformes (pas d'exposition au soleil, d'ombres ou de réflexions de lampes)
- tournez le récipient gradué de telle manière que le petit côté sans graduation du récipient soit en face de vous
- suspendez l'échelle de mesure la plus courte dans le récipient gradué
- versez environ 2.5 litres d'eau à analyser dans le récipient gradué et remplissez-le avec de l'eau jusqu'à la marque horizontale de l'échelle de mesure
- mesurez la turbidité initiale en déplaçant l'échelle de mesure d'arrière en avant jusqu'à ce que vous puissiez juste détecter le cercle et la ligne verticale tracés sur l'échelle
- relevez la position de l'échelle en lisant la graduation horizontale
- notez ce résultat sur le formulaire et indiquez le type de repère gravé utilisé (cercle et ligne épais pour des eaux très turbides, équivalent au cercle dans le tube de mesure de la turbidité; cercle et ligne fin pour des eaux modérément turbides)
- tournez le récipient gradué de 180° de façon à avoir le petit côté portant l'échelle verticale en face de vous
- remplacez l'échelle de mesure courte par la longue et placez cette dernière en position oblique avec, en face de vous, le même type de repère (épais ou fin) qu'utilisé auparavant

- mesurez la baisse de la turbidité en observant à travers la fente la visibilité de la ligne gravée
- relevez la position de l'extrémité visible de la ligne gravée en lisant l'échelle verticale après
0, 15, 30, 60 minutes
2, 4, 8 et 24 heures
- notez les résultats sur le formulaire adéquat
- videz le récipient gradué de toute l'eau qu'il contient et lavez l'équipement

mise en place pour la mesure de
la turbidité initiale la baisse de la turbidité



Annexe 3 :

Méthodes simples de mesure du débit1. 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 préfiltre fonctionnant en parallèle. Une répartition inégale du débit réduira généralement le rendement global de l'ensemble des préfiltres. 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 l'endommager. Il est donc fortement déconseillé d'utiliser de tels appareils dans des 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, 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. 36 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 listée dans le tableau 8 et représentée graphiquement sur la fig. 37.

Tableau 8 Débit sur un déversoir en V de 60°

hauteur d'eau h_w (cm) sur la crête du déversoir	débit		
	l/s	l/m ³ n	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

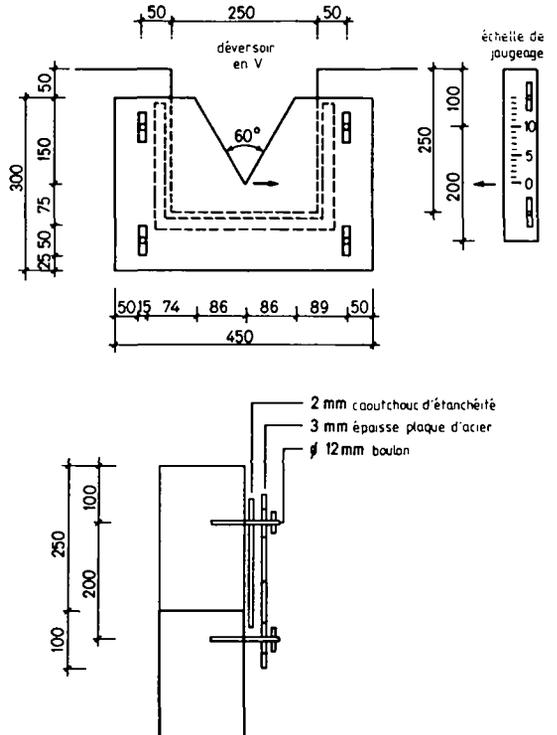


Fig. 36 Détails d'un déversoir en V de 60°

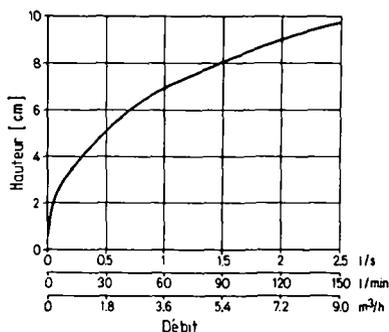


Fig. 37 Courbe de jaugeage

3. Appareils mobiles

Des équipements auxiliaires sont nécessaires pour calibrer les mesures du déversoir ou pour effectuer des mesures directes de débit si l'installation n'est pas équipée de déversoirs en V. La méthode de mesure du débit la plus simple consiste à mesurer le temps nécessaire pour remplir un seau de volume déterminé. Toutefois, avec cette méthode, une montre est nécessaire et il se peut qu'elle ne soit pas toujours aisément disponible. En outre, cette procédure est inappropriée pour les débits importants car le temps de remplissage du seau devient très court et il est difficile de manipuler simplement un seau plein à cause de son poids.

L'IRCWD a donc développé un appareil de mesure du débit plus approprié qui est présenté sur la fig. 38. 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. 39. 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 fond du récipient permet d'obtenir une surface d'eau sans turbulences dans le compartiment d'évacuation. Enfin, une graduation de demi-centimètre en demi-centimètre 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 $\frac{1}{2}$ "", 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. L'exploitant peut facilement manipuler cet appareil qui devrait donc être disponible sur chaque station de traitement.

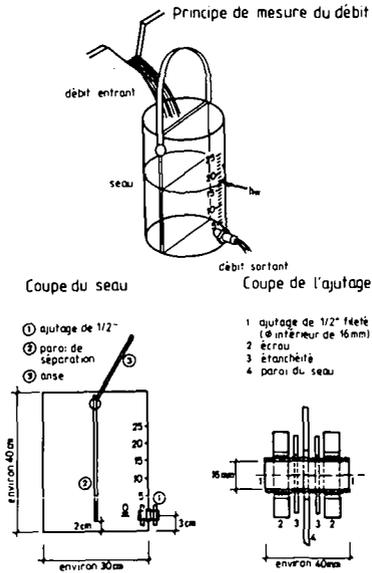


Fig. 38 Appareil simple de mesure du débit

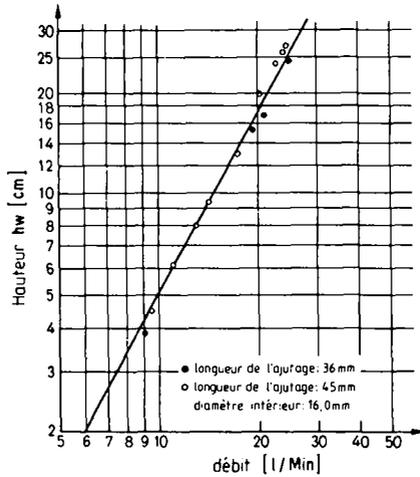


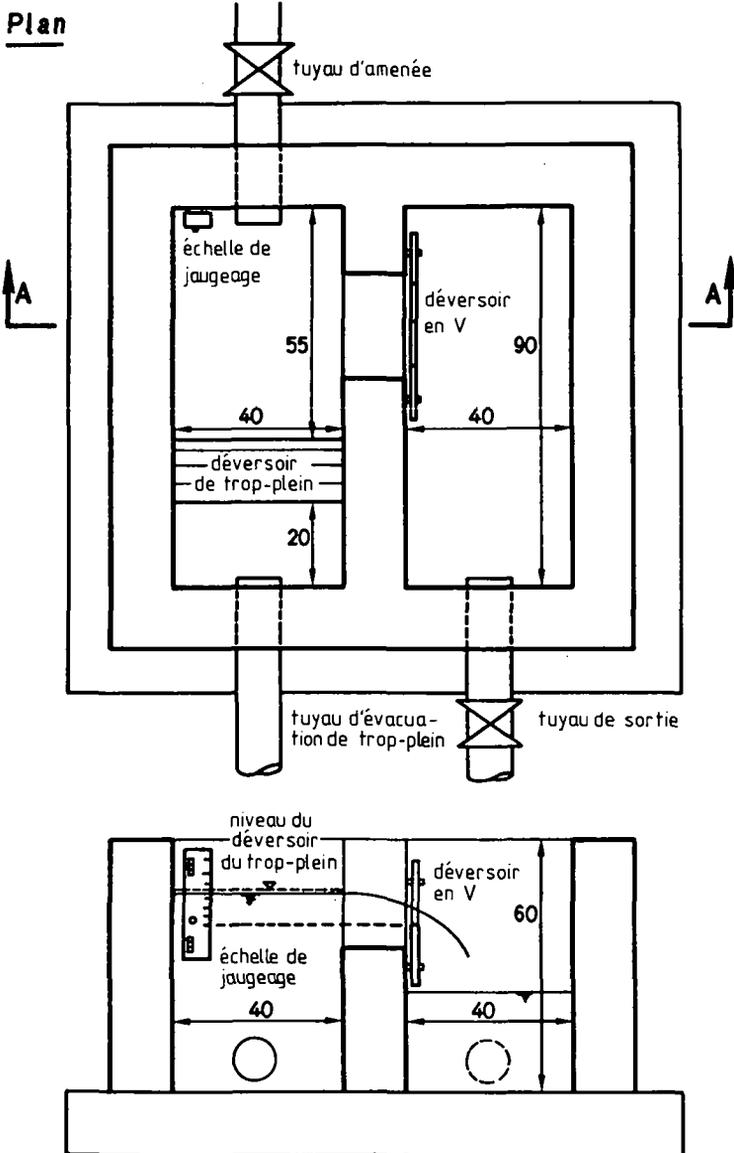
Fig. 39 Courbe de calibration d'un ajutage de 1/2"

4. Contrôle du débit et chambre de distribution

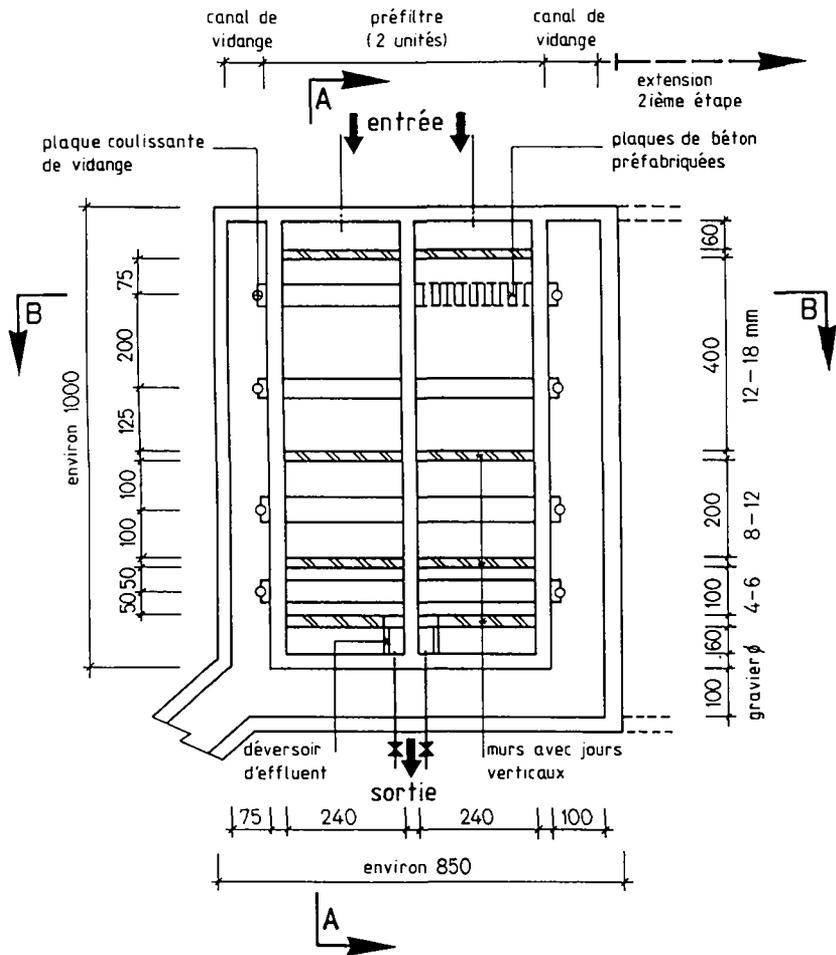
Les déversoirs en V sont généralement installés dans des structures spéciales utilisées pour la distribution du débit et, éventuellement, aussi pour limiter le débit maximum admis sur la station. Un exemple d'une telle structure est illustré par la fig. 40. Cette illustration montre une chambre de contrôle du débit installée sur un réseau d'alimentation en eau brute et placée avant 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 également distribué entre les différentes unités de préfiltres 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 installation, la conception hydraulique de la station de traitement est simplifiée. Avec cette configuration, on peut, par exemple, renoncer aux déversoirs d'entrée des PHF comme le montre la fig. 32 et l'annexe 4.

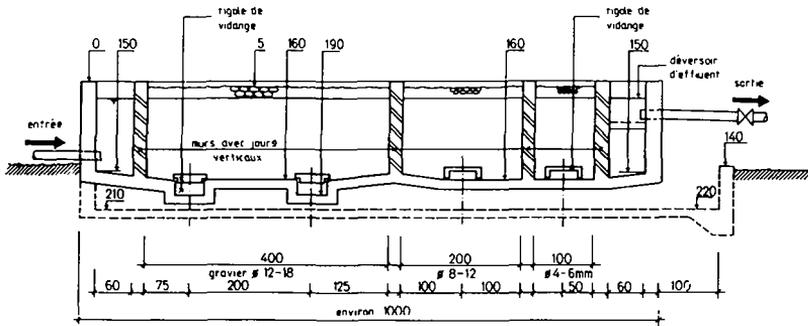
Fig. 40 Détails d'une chambre de contrôle du débit



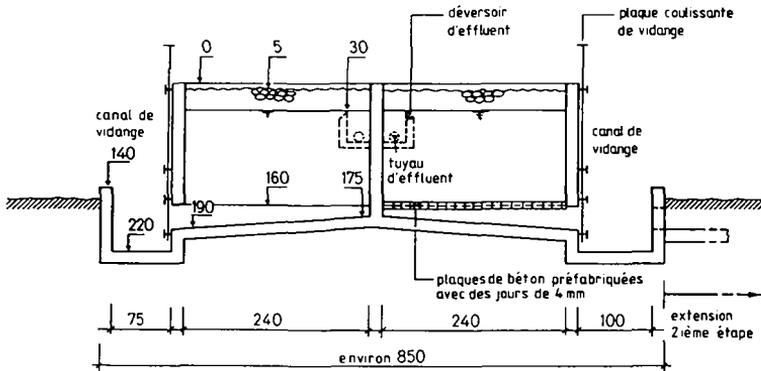
Annexe 4 :

Détails constructifs d'un PFHPlan

Coupe A - A



préfiltre
(2 unités)



COUPE B - B

Annexe 5 :

Données principales et caractéristiques d'un FLS

(pour des informations supplémentaires, consultez la référence [1])

critères de dimensionnement

vitesse de filtration	v_F	0.1 m/h (0.1 - 0.2 m/h)
surface par lit filtrant	A	10 - 100 m ²
nombre de lits filtrants		2 au minimum
hauteur de l'eau surnageante	h_w	1 m (1 - 1.5 m)
épaisseur du lit filtrant	h_f	1 m (1 - 1.4 m)
épaisseur du système de vidange et du support du filtre	h_s	0.4 m (0.3 - 0.5 m)
caractéristiques de la taille effective du sable filtrant	$d_{10\%} = d_{eff}$	0.15 - 0.35 mm
coefficient d'uniformité	UC	2 - 5
caractéristiques du support du filtre		
taille/épaisseur		15 - 25 mm / 15 cm
		4 - 6 mm / 10 cm
		1 - 1.5 mm / 10 cm

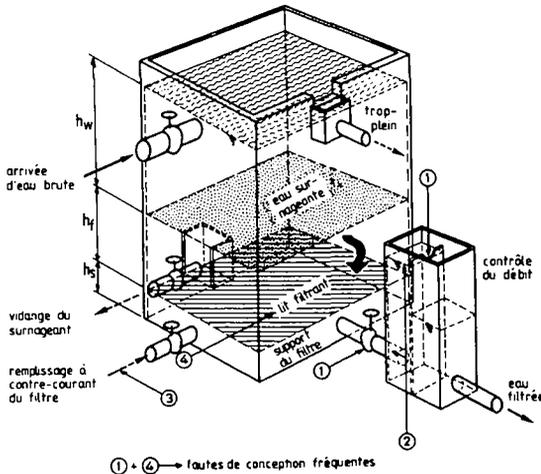


Fig. 41 Caractéristiques principales d'un FLS et fautes de dimensionnement les plus fréquentes

Fautes de dimensionnement les plus fréquentes et leurs conséquences

(voir aussi la fig. 41)

1. installations de contrôle du débit inappropriées 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. installations pour remplir le filtre à contre-courant (de bas en haut) avec de l'eau manquantes → fixation de l'air dans le lit de sable provoquant une importante résistance initiale du filtre
4. taille des grains de sable et épaisseur du lit filtrant inappropriés → mauvaise qualité de l'effluent (sable grossier, faible épaisseur) ou courte période de fonctionnement du filtre nécessitant de fréquents lavages (sable trop fin)

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 FLS. 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.
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 FLS, ne sont généralement pas motivés pour entretenir correctement l'installation de traitement.

Annexe 7 :

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, dégâts 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 requière, 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, contrôlant le bon fonctionnement des installations, aidant l'équipe locale dans ses activités et maintenant un échange d'informations entre le terrain et le bureau.

Un programme de formation est brièvement esquissé ci-dessous. Les chapitres 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 (12).

2. Horaire

Un programme idéal de formation peut être divisé en 3 parties. La période, le but, l'emplacement et la durée de chacune des 3 parties sont résumés dans le tableau 9.

3. Esquisse du programme

Les paragraphes suivants constituent une proposition pour les différents chapitres couverts par chacune des 3 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 PFH et des FLS
 - explication du procédé de traitement et du fonctionnement des différentes installations
 - discussion des problèmes de la qualité de l'eau rencontrés par les installations planifiées
 - 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 FLS et du PFH
 - 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
 - l'exécution de mesures simples de la qualité de l'eau (turbidité, filtrabilité, matières décantables, stabilité de la suspension)
 - le contrôle des installations de traitement (tenue du cahier d'exploitation)
 - les travaux de maintenance
 - le calendrier annuel des travaux

- Partie 3 :
- rafraîchissement 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 expérimentés
 - inspection des installations et organisation des principaux travaux de maintenance
 - examen critique du cahier d'exploitation et des résultats d'exploitation

Tableau 9 Programme de formation

Partie	Période	But	Emplacement/Durée
1	phase de l'avant-projet ou avant/pendant la construction des nouvelles installations de traitement	présentation des procédés de traitement aux futurs utilisateurs et motivation	PFH et FLS existants - 1 jour
2	pendant ou à la fin de la phase de construction	formation de base des futurs exploitants sur l'exploitation et la maintenance du PFH et du FLS	PFH et FLS existants ou nouveaux - 3 - 5 jours
3	durant la phase d'exploitation	supervision, conduite, support des exploitants pour l'exploitation et la maintenance du PFH et du FLS (échange d'information)	sur le site - par des visites de terrain régulières

Annexe 8 :

Programme de contrôle pour PFH et FLS

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 débits 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 qualité de l'eau devraient aussi être exécutées régulièrement, soit une fois par semaine. L'équipement nécessaire pour les mesures de débits 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 10.

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 outre 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 11.

4. Visites 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 ces 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 2-3 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 brève description 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.).

Tableau 10 Programme de contrôle sur le terrain

paramètre	mesuré sur	fréquence
vitesse de filtration perte de charge du préfiltre perte de charge du filtre	PFH et FLS PFH FLS	tous les 2 jours 1 fois / semaine tous les 2 jours
turbidité filtrabilité	l'eau brute et les effluents du PFH et du FLS (si la turbidité est élevée, sur le filtrat de chaque compartiment filtrant)	2 fois / semaine (quotidiennement pendant les périodes de turbidité élevée)
matières décantables	l'eau brute	1 fois / semaine

Tableau 11 Programme de contrôle chimique et bactériologique

analyses	échantillons	fréquence
E. coli ou coliformes totaux ou Strept. fécaux	eau brute et effluents du PFH et du FLS	mensuellement pendant les 6 premiers mois puis occasionnellement
pH conductivité dureté totale alcalinité Ca ²⁺ Mg ²⁺ concentration en matières en suspension	eau brute	tous les 2 mois

Annexe 9 :

Exemples d'application de PFH

Pour illustrer l'application des PFH, nous vous présentons 3 exemples de construction. Une nouvelle station de traitement de l'eau comprenant 2 PFH et 2 FLS a été construite à Kasote, en Tanzanie. La station de traitement de l'eau de Cocharcas, au Pérou, a été rénovée par la construction de 2 PFH à l'amont des 2 FLS existants. Le dernier exemple présente l'application d'un PFH au camp de réfugiés FAU 5 au Soudan. L'IRCWD a agi comme conseiller technique dans le cadre de la construction des PFH de ces trois projets. Leurs caractéristiques principales sont présentées au tableau 12.

1. Kasote/Tanzanie

Kasote se trouve près du lac Tanganika et couvre les besoins en eau de ses 3000 habitants en tirant l'eau de la rivière Kapondwe. Un petit déversoir alimentant un canal ouvert de 850 m. de long a été installé dans la rivière. L'eau du canal actionne 2 béliers hydrauliques qui pompent l'eau dans un réservoir de stockage situé 70 m. plus haut. Ce réservoir de 90 m³ de volume alimente le réseau de distribution formé de 3350 m. de tuyaux de PVC et de PEH et de 14 borne-fontaines à deux robinets. La construction du système d'alimentation en eau a été effectuée avec la participation des villageois de 1982 à 1984.

Comme l'eau de la rivière est polluée, notamment du point de vue bactériologique, et a une forte turbidité, avec des pics d'environ 200 NTU pendant la saison des pluies, le village a décidé la construction d'une station de traitement qui a été achevée en novembre 1985. Elle comprend 2 PFH et 2 FLS situés à l'amont du réservoir de stockage existant. Le bassin de décantation a pu être omis car les matières solides grossières sont retenues par le canal ouvert alimentant les béliers hydrauliques. Les caractéristiques principales du PFH sont résumées dans le tableau 12. Les fondations et les dalles des préfiltres sont faites en béton armé et les murs en blocs de béton armé. Des tuyaux de vidange (Ø 50 mm. perforés avec des fentes) ont été fournis pour permettre le lavage hydraulique des PFH. 3 tuyaux de vidange sont installés dans le premier compartiment filtrant, 2 dans le deuxième et 1 dans le dernier compartiment filtrant.

Les FLS sont de forme circulaire (Ø 5.1 m) et les murs sont construits avec des blocs de béton armé. La couche de sable, de même que celle d'eau surnageante, a une épaisseur d'environ 1 m. Les 2 FLS fonctionnent à une vitesse de filtration constante de 0.2 m/h.

Tableau 12 Exemples d'application de PFH

lieu/pays du projet	Kasote, Tanzanie	Cocharcas, Pérou	FAU 5, Soudan
capacité nominale (m ³ /jour)	196	103	240
population actuelle	3000	650	20'000 *
source d'eau brute	rivière	canal d'irrigation	canal d'irrigation
turbidité max. (NTU)	200	500	2000
PFH :			
- nombre d'unités	2	2	4
- vitesse de filtration (m/h)	1	0.6	0.75
- longueur des compartiments filtrants (m)			
• graviers grossiers	6	3	4
• graviers moyens	4	2	4
• graviers fins	2	1	2
- largeur du préfiltre (m)	3.7	3.6	2.0
- hauteur d'eau (m)	1.1	1.0	1.2
période de construction	mai 84	déc. 85	août 85
	nov. 85	avril 86	sept. 85
coûts spécifiques de construc- tion du PFH (\$/m ³ /jour)	130	41	130

*) nombre de réfugiés prévus

La station de traitement a été mise en service en janvier 1986. Les premières expériences pratiques sont prometteuses. La perte de charge du FLS a été mesurée à 60 cm. après une durée de fonctionnement de plus de 4 mois incluant la période pluvieuse de février à avril. Aucun des filtres n'a dû être nettoyé après cette période de fonctionnement. Du point de vue de l'amélioration de la qualité bactériologique de l'eau, le nombre de streptocoques fécaux de 300/100 ml dans l'eau brute a été réduit à 200/100 ml par le PFH et à moins de 2/100 ml par le FLS (comptage pendant la saison sèche avec une turbidité de l'eau brute de 5.5 NTU).

La station de traitement de l'eau a été construite sous la supervision du bureau d'ingénieurs régional de l'eau à Sumbawanga et avec le support de la NORAD. La fig. 42 montre une étape de la construction des PFH.



Fig. 42 PFH en construction à Kasote, Tanzanie

Cocharcas/Pérou

Cocharcas est située dans la vallée de la rivière Mantaro, département de Junin dans les hauts plateaux péruviens. Le village compte actuellement environ 650 habitants. Le réseau d'alimentation en eau existant, construit avec la participation de la population en 1977-78, comprend une prise d'eau située dans un petit canal d'irrigation, un bassin de décantation, deux FLS, un réservoir et un réseau de distribution équipé de branchements privés à un robinet.

Le canal d'irrigation, dont l'eau provient d'une rivière située 4-5 km. à l'amont de la prise d'eau, est fortement exposé aux contaminations humaines et animales. La turbidité augmente jusqu'à 500 NTU pendant la saison des pluies qui dure de novembre à mars. Cette turbidité élevée, conjuguée avec une erreur de conception, un manque d'expérience de la construction et un fonctionnement et un entretien inadéquats, furent la cause d'un fonctionnement instable et irrégulier de l'installation et constituaient une menace permanente pour la santé de la communauté.

L'aspect le plus important de la réhabilitation du système d'alimentation en eau fut la construction de 2 PFH. La prise d'eau fut en outre réparée et équipée avec un appareil adéquat de mesure du débit. Les lits de sable des FLS ont été remplacés et les filtres équipés d'un nouveau système de vidange, d'un trop-plein adéquat et d'installations de lavage. Les caractéristiques importantes de la conception des PFH sont également résumées dans le tableau 12, alors que la fig. 43 montre la construction des PFH et la fig. 44 fournit plus d'informations sur les détails constructifs du PFH.

Le système d'alimentation en eau fut rénové de décembre 1985 à avril 1986 avec une participation importante de la communauté et avec l'assistance de DelAgua/ODA/CARE et une participation directe de la Division de l'Assainissement Rural du Ministère de la Santé (DISAR) à Huancayo.

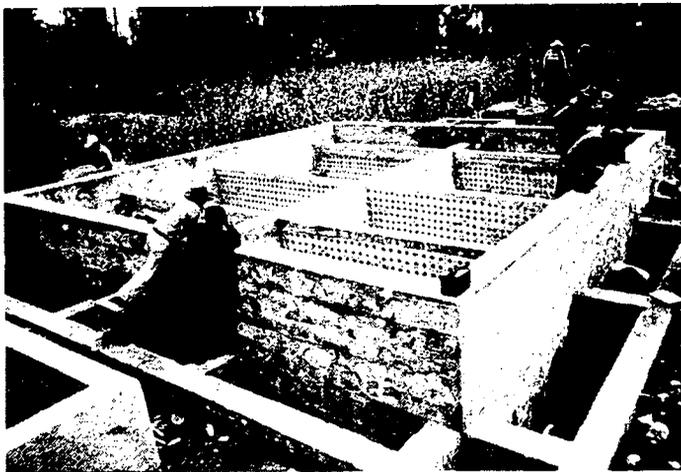
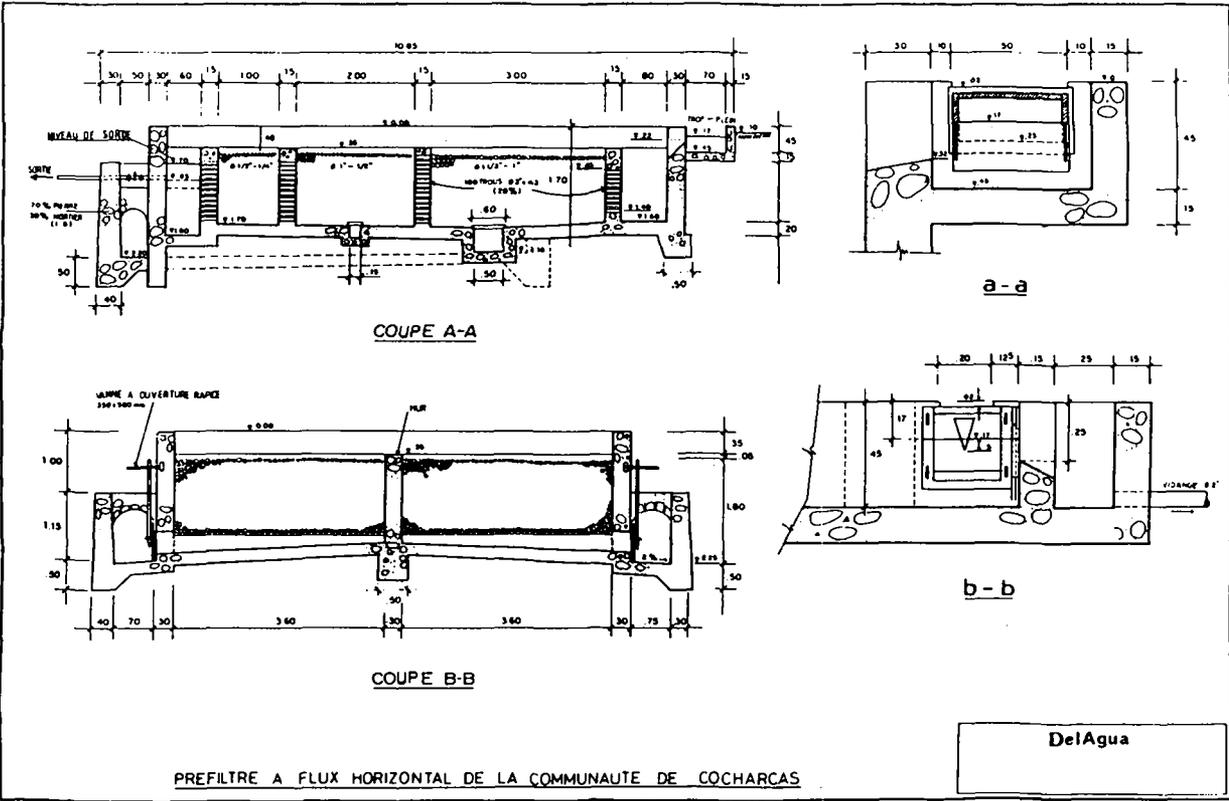


Fig. 43 PFH en construction à Cocharcas, Pérou (photo de DelAgua)

Fig. 44 Conception du PFH de Cocharcas, Pérou



PREFILTRE A FLUX HORIZONTAL DE LA COMMUNAUTE DE COCHARCAS

3. FAU 5 / Soudan

Le Corps suisse pour l'aide en cas de catastrophes a mis en place l'infrastructure d'un camp de réfugiés pour 20'000 personnes à proximité de Wad Medani, au sud du Soudan, en août- septembre 1985. Un réseau d'alimentation en eau, des bâtiments permanents pour un hôpital, des centres de ravitaillement et un édifice administratif ont été construits. Un accent particulier a été mis sur le choix de matériaux de construction légers, une installation simple et une construction rapide. Les installations devaient en outre être solides, faciles à entretenir et leur fonctionnement simple.

L'eau brute, tirée d'un canal d'irrigation situé à proximité, est fournie par le fleuve Blue Nile et ne subit qu'un traitement minimum, soit une réduction de la turbidité avant désinfection. C'est la raison pour laquelle la station de traitement de l'eau comprend 2 bassins de décantation et 4 PFH. L'eau filtrée est ensuite désinfectée avant d'être stockée dans un réservoir d'eau claire et distribuée au camp par des borne-fontaines publiques. La désinfection est utilisée à la place du FLS parce qu'il n'y a pas de sable disponible sur place et parce que le personnel médical du camp sera capable de faire fonctionner l'installation de désinfection.

Les bassins de décantation et les PFH sont des bassins de terre avec des parois inclinées et dont les bords surélevés sont formés de sacs remplis avec la terre excavée. Les bassins furent ensuite revêtus d'une feuille de plastique préfabriquée. Avant de remplir les PFH avec le gravier, des tuyaux perforés ont été installés pour permettre le lavage hydraulique des préfiltres qui est effectué au moyen d'une pompe de grande capacité.

Les valeurs de dimensionnement des PFH sont présentées dans le tableau 12. Les fig. 45, 46 et 47 illustrent les différentes phases de construction de ces PFH. La conception appropriée et judicieuse des installations de traitement a rendu possible leurs constructions avec des outils simples et un apport de matériels extérieurs et de temps minimum. La station de traitement fut terminée en 6 semaines par environ 100 ouvriers non permanents et sous le contrôle d'un contre-maître étranger.

L'eau brute du canal d'irrigation est fortement contaminée car plusieurs autres camps de réfugiés sont situés à l'amont de la prise d'eau. D'autre part, elle présente une forte turbidité comprise entre 1000 et 2000 NTU et les besoins en chlore sont de 20 - 40 mg/l. Les premières expériences pratiques avec la station de traitement montrèrent que la turbidité de l'eau brute pouvait être réduite par les bassins de décantation à environ la moitié de sa valeur initiale. La turbidité de l'effluent des PFH fut enregistrée entre 5 et 20 NTU et les besoins en chlore réduits à 2 - 3 mg/l.

Ce dernier exemple illustre le cas d'une technique de construction non conventionnelle. L'utilisation d'outils simples, des conseils appropriés et des besoins minimum en matériels et en temps furent les principales caractéristiques de la construction de cette station de traitement indépendante et efficace.

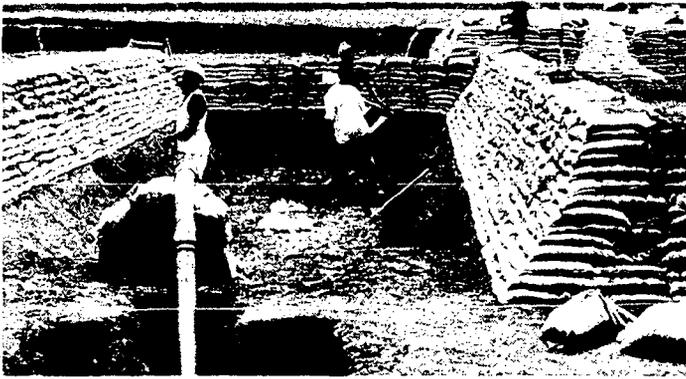


Fig. 45 Excavation du bassin en terre d'un PFH
(photo du Corps suisse pour l'aide en cas de catastrophes)

Fig. 46 Installation des tuyaux de vidange



Fig. 47 Remplissage du PFH avec les matériaux filtrants
(photo du Corps suisse pour l'aide en cas de catastrophes)

