



CIR
Centre International de Référence
pour l'approvisionnement en eau
collective et l'assainissement
centre collaborant de l'O.M.S.

255.1 81FI

Novembre 1981

La Haye, Pays-Bas

La Filtration lente sur sable

pour l'approvisionnement en eau collective
dans les pays en développement

11

Série des documents techniques

255.1-81FI-8944

Résumé

"La Filtration Lente sur Sable pour l'approvisionnement dans les pays en développement. Manuel de Conception et de Construction".

Document Technique No. 11, Centre International de Référence pour l'Approvisionnement en Eau Collective et l'Assainissement, Rijswijk (La Haye), Pays Bas (environ 185 pp), Décembre 1978.

La filtration lente sur sable est une technique de purification excellente et à prix bas pour des eaux de surface polluées dans les pays en voie de développement. Les thèmes proposés dans ce manuel de conception et de construction comprennent les principes de la filtration lente sur sable; les techniques de pré-traitement adaptés pour l'élimination de la turbidité; et les directions compréhensives pour la conception et la construction des petits filtres lents à sable. Le manuel contient quatre conceptions typiques, avec capacités de 25 à 960 m³/j, comprenant également des dessins des constructions et des listes de quantités de matériaux de construction.

Mots-Clé

Traitement d'eau à prix bas.

Conception des filtres lents à sable, construction des filtres lents à sable.

Filtres lents à sable, approvisionnement en eau en milieu rural, pays en voie de développement, pré-traitement pour des filtres lents à sable, application des matériaux de construction locales pour des filtres lents à sable.

CDU 628.163.067(035.5)(1-773)

C.I.R.

Le C.I.R. fut fondé en 1968 lors d'une convention passée entre l'Organisation Mondiale de la Santé (O.M.S.) et le Gouvernement Néerlandais. Le C.I.R. est une fondation indépendante. L'objectif principal du C.I.R. est de promouvoir et de soutenir la création de facilités pour une eau potable saine et pour l'assainissement dans le monde en voie de développement. Par l'intermédiaire d'institutions nationales, d'agences et de centres régionaux, le C.I.R. travaille dans les régions rurales et périphériques de l'Afrique, de l'Asie et de l'Amérique Latine. Le Centre collabore étroitement avec des organisations des Nations Unies telles que l'O.M.S., la Banque Mondiale, le PNUD et l'UNICEF, ainsi qu'avec d'autres organisations membres du Comité Dirigeant de la Décennie des N.U. De plus, le C.I.R. fonctionne comme Centre Collaborant de l'O.M.S. pour l'Approvisionnement en Eau Collective. Il est assisté dans ce travail par ces organisations et par des donateurs bilatéraux, et aussi par des institutions établies dans les pays industrialisés.

Les programmes principaux du C.I.R. se situent dans les domaines suivants: (1) Soutien et Service pour l'Information; (2) Développement et Transfert de Technologie; (3) Développement et Formation Professionnelle de la Main d'Oeuvre; (4) Education et Participation Communautaire; et (5) Planification et Evaluation de Programmes. Le C.I.R. fournit un soutien sous forme de matériel de directives et de formation professionnelle, de séminaires et d'ateliers, de projets de recherche et de démonstration, ainsi qu'une aide générale pour le développement de facilités nationales.

Les demandes d'information sur le C.I.R. ou toute autre question touchant à un problème spécifique peuvent être adressées directement au C.I.R., service d'information, B.P. 5500, 2280 HM Rijswijk (La Haye), Pays Bas.



Centre international de
reference pour
l'approvisionnement en eau
collective et l'assainissement
centre collaborant de
l'O.M.S.

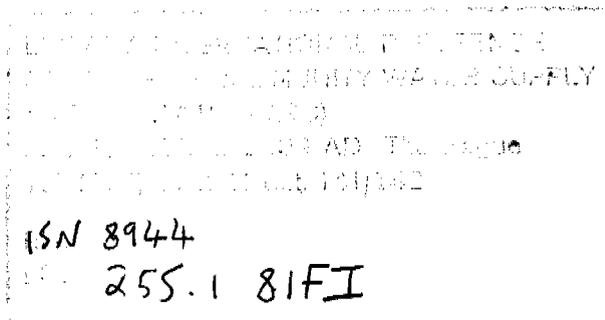
La filtration lente sur sable

pour l'approvisionnement en eau collective dans les pays en
développement

Manuel de Conception et de Construction compilé
par J.C. van Dijk et J.H.C.M. Oomen

Traduction française par l'Association Française
pour l'Etude des Eaux

Document technique no. 11
Novembre 1981



Vertical line on the left side of the page.

Table des matieres

	<u>Page</u>
PREFACE	11
1. INTRODUCTION	13
2. CONSOMMATION D'EAU, CRITERES DE QUALITE ET MALADIES D'ORIGINE HYDRIQUE	17
2.1. Consommation d'eau	17
2.2. Critères de qualité de l'eau et maladies d'origine hydrique	19
3. PRINCIPES DE LA FILTRATION LENTE SUR SABLE	23
3.1. Introduction	23
3.2. Description des éléments de base d'un filtre lent à sable	24
3.3. Principe du procédé d'épuration	28
3.4. Rendements de filtres lents à sable	30
3.5. Possibilités et limites d'emploi des filtres lents à sable	32
3.6. Avantages des filtres lents à sable	33
3.7. Exploitation et entretien de filtres lents à sable	34
3.8. Prétraitement et post-traitement en combinaison avec des filtres lents à sable	41
3.9. Guide pour le choix d'un système de traitement de l'eau	43
4. CONCEPTION D'INSTALLATIONS DE FILTRATION LENTE SUR SABLE	45
4.1. Introduction	45
4.2. Critères généraux de calcul	47
4.3. Exemple de calcul	49
4.4. Critères de calcul	62
5. CONSTRUCTION ET SPECIFICATION DES ELEMENTS D'INSTALLATIONS DE FILTRATION LENTE SUR SABLE	65
5.1. Dimensions et disposition des filtres	65
5.2. Construction du bassin filtrant	72

	<u>Page</u>
5.3. Structure de l'ouvrage d'entrée	78
5.4. Structure de l'ouvrage de sortie	80
5.5. Réseau de drains	83
5.6. Dispositifs de contrôle des filtres	86
5.7. Unités de prétraitement et post-traitement	89
5.8. Stockage de l'eau traitée	90
5.9. Tuyauteries et dispositifs de pompage	92
6. CONCEPTIONS TYPIQUES POUR LES FILTRES LENTS A SABLE ...	97
6.1. Filtre à paroi oblique protégée	97
6.2. Filtre circulaire en ciment armé	99
6.3. Filtre circulaire en maçonnerie	100
6.4. Filtre rectangulaire en béton armé	102
6.5. Disposition des stations de traitement pour les quatre conceptions typiques	102
6.6. Capacité de production des quatre conceptions typiques	105
6.7. Quantités de matériaux de construction nécessaires pour les quatre conceptions typiques	106
6.8. Prix de revient des filtres lents à sable	108
7. MISE EN OEUVRE D'INSTALLATIONS DE FILTRATION LENTE SUR SABLE	115
7.1. Introduction	115
7.2. Appel d'offres	116
7.3. Planification et organisation	118
7.4. Instructions pour la construction	121
7.5. Liste de contrôle de la succession des opérations pour la construction de filtres lents à sable	125
 ANNEXES	
1. Critères de qualité des eaux	131
2. Installations simples de prétraitement	135
3. Chloration de sécurité et désinfection	143
4. Etudes de sol	149
5. Matériaux de construction	155

	<u>Page</u>
6. Dispositifs de mesure de débit	161
7. Analyse de la qualité de l'eau	165
8. Calculs structurels pour un bassin filtrant en béton armé	169
9. Adresses des organisations membres de la FIDIC	175
BIBLIOGRAPHIE	177
GLOSSAIRE	181
LISTE DES CORRECTEURS	191

Liste des tableaux

<u>Tableau</u>	<u>Description</u>	<u>Page</u>
2.1.	Gamme de consommation journalière moyenne par tête (litres par habitant et par jour) dans des zones rurales	18
2.2.	Consommation journalière moyenne et éventail de consommation journalière, en litre par habitant, pour divers types d'alimentations rurales en eau	18
2.3.	Catégories de maladies infectieuses en liaison avec l'eau et stratégies préventives	20
3.1.	Rendement de filtres lents à sable	31
3.2.	Guide pour le choix d'un système de traitement d'eau comportant une filtration lente sur sable	44
5.1.	Dimensions et formes de filtres lents à sable pour différents capacités (pour une vitesse de filtration de 0,1 m/h)	71
5.2.	Constructions diverses de bassins filtrants et leurs possibilités d'emploi en filtration lente sur sable	79
6.1.	Positionnement des vannes pour la conception No III	101
6.2.	Capacité de production journalière des quatre conceptions typiques (I - IV) pour différents modes d'exploitation	105
6.3.	Populations pouvant être desservies par les quatre conceptions typiques, pour une demande en eau de 40 l/hab./j. (pour divers modes d'exploitation)	106
6.4.	Fourchette estimée des prix de revient (en \$ US) des matériaux pour filtres lents à sable, par unité de production (m ³ /h) pour les 4 conceptions typiques	108
6.5.	Fourchette estimée des prix de revient (en \$ US) des matériaux pour filtres lents à sable par habitant desservi (sur la base des quatre conceptions typiques)	109

Preface

Bien que le domaine du traitement des eaux offre tout un éventail de choix technologiques, seuls quelques-uns de ces choix peuvent satisfaire pleinement aux besoins spécifiques de pays en développement. L'une des méthodes de ce genre est la filtration lente sur sable, - technique simple, efficace et fiable pour le traitement des eaux. Son prix de revient se situe généralement dans la limite des ressources de la collectivité et/ou du pays, et le personnel expérimenté pour la conception, la construction, l'exploitation et l'entretien existe d'ordinaire localement, ou bien on peut très facilement se le procurer.

Comme la filtration lente sur sable peut aisément être adaptée à la situation locale, sans recourir à des équipements d'importation, et comme les collectivités peuvent être activement associées aux différents stades de réalisation et d'utilisation de l'adduction d'eau, les installations de filtration lente sur sable peuvent assurer un service de très longue durée.

Afin de démontrer que des alimentations rurales en eau peuvent tirer avantage de ces caractéristiques, un certain nombre d'organismes, dans des pays en développement, ont entrepris un projet de filtration lente sur sable, en collaboration étroite avec le CIR (Centre International de Référence). Les établissements suivants ont réalisé des programmes de recherches appliquées dans la première phase du projet: l'Université des Sciences et de Technologie, Kumasi, et la Ghana Water and Sewerage Corporation, Ghana; le National Environmental Engineering Research Institute, Inde; l'Université de Nairobi, Kenya; l'Université de Khartoum, Soudan, et l'Asian Institute of Technology et la Rural Water Supply Division en Thaïlande. Des remerciements particuliers vont à toutes les personnes qui ont collaboré à ces programmes, et en particulier aux Chercheurs Principaux.

D'après les expériences faites jusqu'ici dans ce projet, le présent manuel a été rédigé au titre d'une convention entre le CIR et

MM. J.C. van Dijk en J.H.C.M. Oomen, du Technical Working Group for Development Corporation (TWO), organisme à but non lucratif associé à la fondation TOOL, et patronné par les DHV Consulting Engineers.

Nous exprimons notre gratitude pour l'énorme travail réalisé par les auteurs pour l'examen et l'interprétation des renseignements existants et pour la compilation de ce Manuel de Conception et de Construction.

Une version provisoire du Manuel a été mise en circulation entre plusieurs correcteurs. Le CIR est reconnaissant de leurs observations, selon lesquelles le Manuel a été rectifié. Une liste des correcteurs est jointe à ce rapport.

Bien que le Manuel couvre toute une gamme d'application de la filtration lente sur sable et présente quelques exemples typiques, il n'a nullement la prétention d'être exhaustif ou définitif.

Il faut reconnaître que c'est uniquement sur le terrain que l'on peut démontrer la valeur pratique et la possibilité d'application du Manuel. En le diffusant, sous sa forme présente, parmi un vaste cercle de lecteurs, le CIR désire créer une occasion de mise à l'essai et de fourniture en retour de renseignements. Le lecteur est donc prié de formuler ses commentaires et ses suggestions pour les changements, corrections ou additions qu'il estime nécessaires ou utiles. Le CIR acceptera avec gratitude de telles collaborations, et s'en servira lors d'une révision future du Manuel.

Le présent document ne fait qu'étudier brièvement le sujet de l'exploitation et de l'entretien de petites installations de filtration lente sur sable. Une description plus complète des connaissances et de l'habileté requises de l'exploitant d'un filtre lent à sable, ainsi qu'un schéma pour un programme de formation, feront l'objet d'un manuel séparé.

1. Introduction

Une alimentation en eau saine et commode a une importance primordiale pour la santé humaine et pour le bien-être de la société dans son ensemble. Une alimentation en eau satisfaisante pour des usages domestiques, tels que la consommation humaine et l'hygiène personnelle, est caractérisée par des normes appropriées en ce qui concerne la qualité de l'eau, son abondance, sa qualité, et la fiabilité de l'adduction. Les renseignements réunis périodiquement par des organismes internationaux montrent qu'une fraction importante de la population du monde, et notamment un très grand nombre de personnes dans les pays en développement, n'ont pas l'accès qu'il faudrait à une alimentation en eau correcte. Des efforts nombreux ont été réalisés ces dernières années en vue de remédier à cette situation.

Au titre de ses activités dans le domaine de l'alimentation en eau, la Centre International de Référence pour l'Approvisionnement en Eau Collective et l'Assainissement à Rijswijk (La Haye) soutient un programme international de recherches et de démonstrations sur la Filtration Lente sur Sable, afin de promouvoir cette méthode sûre et peu coûteuse de traitement biologique des eaux potables dans les zones rurales et les quartiers urbains périphériques des pays en développement. La première étape consiste à obtenir des renseignements sûrs concernant la conception, la construction, l'exploitation et l'entretien de filtres lents à sable dans les conditions locales, par l'intermédiaire d'un programme comprenant de la recherche appliquée, des enquêtes sur le terrain et des études bibliographiques. Le programme est réalisé simultanément par des organismes du sept pays participants (Colombie, Ghana, Inde, Jamaïque, Kenya, Soudan et Thaïlande) représentant un large éventail de pays en développement.

Le Manuel de Conception et de Construction traite de la mise en oeuvre de la filtration lente sur sable en vue d'épurer biologiquement des eaux de surface polluées par des excréments humains ou animaux. Ce document n'aborde pas le traitement des eaux souterraines par filtration lente sur sable (pour la déferrisation par exemple).

Le Manuel est axé sur des installations communales (par opposition aux appareils ménagers), pour des collectivités de 1 000 à 20 000 habitants.

Le contenu, le texte et les illustrations du Manuel sont destinés essentiellement à des lecteurs semi-professionnels, bien que des techniciens professionnels puissent aussi y trouver quelque utilité.

La terminologie professionnelle spécifique qu'il n'a pas été possible d'éviter est expliquée dans le glossaire. L'emploi de formules est réduit au minimum. Lorsque certains calculs peuvent être difficiles à réaliser dans la pratique, il est également donné des procédés empiriques. Les nombreux tableaux et diagrammes pratiques sont destinés à servir d'outils aux agents destinés à opérer sur place, comme les ingénieurs d'exploitation, les techniciens et les agents de la Santé publique, afin de les mettre en mesure de prendre des initiatives en matière de développement hydraulique rural et urbain.

Le deuxième chapitre du Manuel fournit quelques renseignements de base sur la consommation d'eau domestique, les critères de qualité des eaux et les maladies d'origine hydrique. Le troisième chapitre comprend une brève description de la théorie et des principes épuratoires de la filtration lente sur sable. Les personnes qui désireraient avoir de plus amples renseignements sur ce sujet pourront se reporter au document O.M.S. "La Filtration Lente sur Sable" par L. Huisman et W.E. Wood (1) et aux différents rapports sur les programmes de filtration lente sur sable dans les pays qui participent au présent projet (2 à 7). Les chapitres suivants décrivent, étape par étape, les principales activités nécessaires à la conception et la construction d'une installation de filtration lente sur sable. En d'autres termes, à partir de la nécessité d'une unité de traitement de l'eau pour une communauté de quelques centaines ou quelques milliers de personnes, il est fourni des directives sur la manière de choisir une source adéquate d'eau brute, la manière de choisir un système de traitement

convenable, la manière de concevoir ce traitement, la façon de choisir le lieu d'implantation, la manière d'effectuer l'étude structurelle, etc..

Pour illustrer cette approche, décrite aux Chapitres 4 et 5, le Chapitre 6 donne quatre conceptions typiques pour des capacités allant de 25 à 960 m³/j, y compris des plans de construction et des devis quantitatifs. Les types suivants de filtres lents à sable sont décrits:

- filtre protégé avec parois obliques
- filtre circulaire en ciment armé
- filtre circulaire en maçonnerie
- filtre rectangulaire en béton armé

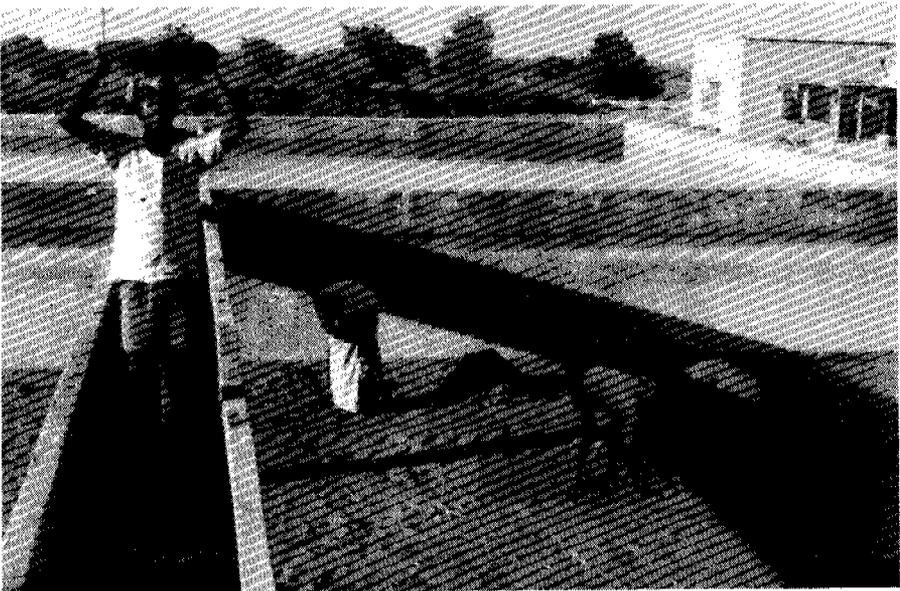
Le Chapitre 7 donne des renseignements sur l'exécution de petites installations de filtration lente sur sable. Les principaux aspects des appels d'offres, du planning, de l'organisation et des instructions pour la construction, sont examinés successivement.

A l'Annexe 2 sont décrites des installations simples de prétraitement, pouvant être mises en oeuvre en combinaison avec des filtres lents à sable; l'Annexe 3 donne des renseignements complémentaires sur la chloration de sécurité.

Dans l'Annexe 5, on s'attache aux matériaux de construction pouvant être utilisés pour la réalisation de filtre lents à sable dans les pays en développement.

Bien que nous pensions que la méthodologie décrite et les chiffres indiqués dans ce manuel soient généralement applicables, il ne faut pas oublier qu'en principe, chaque source d'eau brute et chaque collectivité exige une alimentation en eau "taillée sur mesure".

L'utilisateur de ce Manuel doit bien prendre note de ce fait et appliquer avec précaution les renseignements donnés.



*Filtres rectangulaires en maçonnerie, Umrer (Inde).
(Le filtre au premier plan est en cours de nettoyage).*

2.

Consommation d'eau, criteres de qualite et maladies d'origine hydrique

2.1. Consommation d'eau

L'eau est indispensable à l'existence de tous les êtres vivants, l'homme y compris. Plus de 60 % du poids du corps humain sont constitués par de l'eau. Pour accomplir convenablement ses fonctions physiologiques, l'organisme humain a besoin d'environ 2 à 10 litres d'eau par jour, selon le climat et la charge due au travail. La consommation journalière d'aliments fournit normalement environ un litre d'eau. Le corps humain peut survivre, sans s'alimenter, pendant environ sept semaines sans préjudice permanent pour la santé, mais le fait de se passer d'eau est mortel au bout de quelques jours seulement.

Il faut également de l'eau pour d'autres fonctions, telles que l'hygiène personnelle, le lavage de la vaisselle et des ustensiles de cuisine, la lessive, le nettoyage de la maison, etc..

La consommation totale d'eau, par personne et par jour, est déterminée par de nombreux facteurs comme la présence d'eau, sa qualité, le coût de l'eau, les ressources et l'importance de la famille, les habitudes dues à la civilisation, le niveau de vie, les modes et moyens de distribution d'eau, le climat, etc..

L'O.M.S. (10) a publié des chiffres sur la consommation journalière moyenne par tête pour des zones rurales de sept continents. Ces renseignements sont reproduits au tableau 2.1.

Tableau 2.1.

Gamme de consommation journalière moyenne par tête (litres par habitant et par jour) dans des zones rurales

Afrique	15-35	Amérique Latine et	
Asie du Sud-Est	30-70	Région des Caraïbes	70-190
Pacifique de l'Ouest	30-75	Moyenne mondiale pour	
Méditerranée Orientale	40-85	pays en voie de	
		développement	35- 90

Origine : O.M.S. (10).

Le tableau 2.2. résume la consommation domestique moyenne d'eau, par personne et par jour, pour divers types d'adductions dans des régions rurales de pays en développement.

La première colonne contient des chiffres qui sont utiles pour des buts de conception, tandis que la deuxième montre les variations en consommation potentielles respectives.

Tableau 2.2.

Consommation journalière moyenne et éventail de consommation journalière, en litre par habitant, pour divers types d'alimentations rurales en eau

Type d'alimentation	Consommation journalière moyenne	Eventail de consommation journalière
Alimentation sans adduction	15	5 - 25
Adduction et bornes-fontaines	30	10 - 50
Branchements sur adduction (robinet unique)	50	20 - 100

Origine : Feachem et collègues (12).

2.2. Critères de qualité de l'eau et maladies d'origine hydrique

Il existe diverses normes, nationales et internationales, pour la qualité des eaux. La plupart des pays en développement ont adopté les normes de l'O.M.S. (voir Annexe 1) et s'efforcent de satisfaire à ces normes dans la mesure du possible compte tenu de leur pratique actuelle en matière d'alimentation en eau. Les normes de l'O.M.S. comportent des critères de qualité des eaux en ce qui concerne les aspects physiques, chimiques et bactériologiques. Les caractéristiques générales d'une bonne eau potable peuvent être formulées ainsi: l'eau doit être exempte de germes pathogènes, de substances toxiques et ne pas avoir une teneur excessive en minéraux et en matières organiques; pour être agréable, elle devrait être incolore, et ne présenter ni turbidité, ni saveur, ni odeur; en outre, elle devrait comporter une teneur en oxygène suffisamment élevée et être à une température convenable.

Par suite des températures relativement élevées, favorables à la persistance d'organismes pathogènes dans les eaux naturelles de nombreux pays en développement, la qualité bactériologique de l'eau est l'un des principaux facteurs pour déterminer si l'eau potable est saine.

Mais certaines maladies d'origine hydrique sont provoquées non par une mauvaise qualité bactériologique de l'eau, mais par une pénurie d'eau, ou par une hygiène personnelle et domestique insuffisante. Le tableau 2.3 donne une classification de maladies liées à l'eau, avec des exemples pour chaque catégorie et des mesures préventives contre l'existence de telles maladies.

Les connaissances actuelles, en matière d'épidémiologie tropicale, indiquent que les groupes à faibles revenus notamment présentent une mortalité élevée, résultant d'infections fécales-orales d'origine non hydrique, ou d'infections entraînées par l'eau par suite du manque d'eau pour l'hygiène personnelle ou de pratiques d'hygiène

*Tableau 2.3.
Catégories de maladies infectieuses en liaison avec l'eau et stratégies préventives*

Catégories de mécanismes de transmission	Exemples	Stratégie préventive
1. Maladies d'origine hydrique: - classiques - non classiques	typhoïde, cholera hépatite infectieuse	Améliorer la qualité de l'eau et éviter l'utilisation occasionnelle d'autres sources non améliorées.
2. Infections entraînées par l'eau: - infections de la peau et des yeux - affections diarrhéiques	trachome, gale dysenterie bacillaire	Améliorer la quantité et l'accessibilité de de l'eau, améliorer l'hygiène
3. Infections provoquées par l'eau: - pénétrant dans la peau - ingérées	schistosomiase ver de Guinée	Réduire les besoins de contact avec l'eau, contrôler les populations de mollusques et améliorer la qualité de l'eau.
4. Infections dues à des insectes vecteurs en liaison avec l'eau: - piqûres au voisinage de l'eau - prolifération dans l'eau	maladie du sommeil fièvre jaune	Améliorer l'exploitation des eaux de surface, détruire les lieux de développement des insectes, et réduire la fréquentation des lieux de développement.

Origine : WHITE et collègues (11)

insuffisantes. Comme l'indique le tableau 2.3, c'est tout d'abord la quantité et l'accessibilité de l'eau, ainsi que la fiabilité des aductions, qu'il faudrait améliorer, et ensuite faire des efforts pour améliorer la qualité bactériologique de l'eau. Ceci peut se faire au moyen de dispositions visant à éviter la pollution des sources d'eau

brute par des matières fécales, ou par un traitement de l'eau au moyen de méthodes d'épuration permettant un très important accroissement de la qualité bactériologique, comme la filtration lente sur sable et autres méthodes de désinfection.

Des études récentes (12) montrent que l'amélioration des alimentations en eau des villages n'ont bien souvent des effets mesurables sur la santé que si, en même temps, on entreprend des programmes d'éducation sanitaire centrés sur l'amélioration de l'hygiène personnelle et domestique.

3.

Principes de la filtration lente sur sable

3.1. Introduction

La filtration lente sur sable est une méthode d'épuration dans laquelle on fait passer l'eau à traiter au travers d'un lit poreux de matériau filtrant. Au cours de ce passage, la qualité de l'eau s'améliore considérablement par diminution du nombre de micro-organismes (bactéries, virus, cystes), par élimination de matières en suspension et colloïdales, et par des changements de sa composition chimique. Dans un lit rodé, il se forme sur la surface du lit une mince couche qu'on appelle "membrane biologique".

Cette couche est constituée par une large variété de micro-organismes très actifs biologiquement, qui dégradent les matières organiques, tandis qu'une forte proportion de matières minérales en suspension est retenue par effet de tamisage. Le procédé de filtration lente sur sable se distingue essentiellement de la filtration rapide sur sable par la membrane biologique et par les processus d'épuration qui se déroulent dans cette mince couche superficielle. Les filtres rapides à sable ont pour caractéristique principale l'élimination de particules en suspension relativement grosses par des processus physiques. De plus, les filtres rapides à sable nécessitent un nettoyage par une opération assez complexe de lavage à contre-courant, tandis que les filtres lents à sable sont nettoyés par l'enlèvement périodique, relativement simple, de la partie supérieure du lit filtrant, y compris la membrane biologique.

En principe, la matière poreuse du lit filtrant peut être n'importe quel matériau stable, mais dans le domaine de l'alimentation en eau domestique, la pratique usuelle consiste à utiliser des lits d'un matériau granuleux. Le sable notamment est employé parce qu'il est bon marché, inerte, durable, qu'on peut largement se le procurer, et qu'il donne d'excellents résultats.

3.2. Description des éléments de base d'un filtre lent à sable

Une installation de filtration lente sur sable se compose fondamentalement d'un bassin contenant une couche surnageante d'eau brute, un lit de matériau filtrant et un réseau de drains, et d'un jeu de systèmes de régulation et de commande du filtre (voir Fig. 3.1).

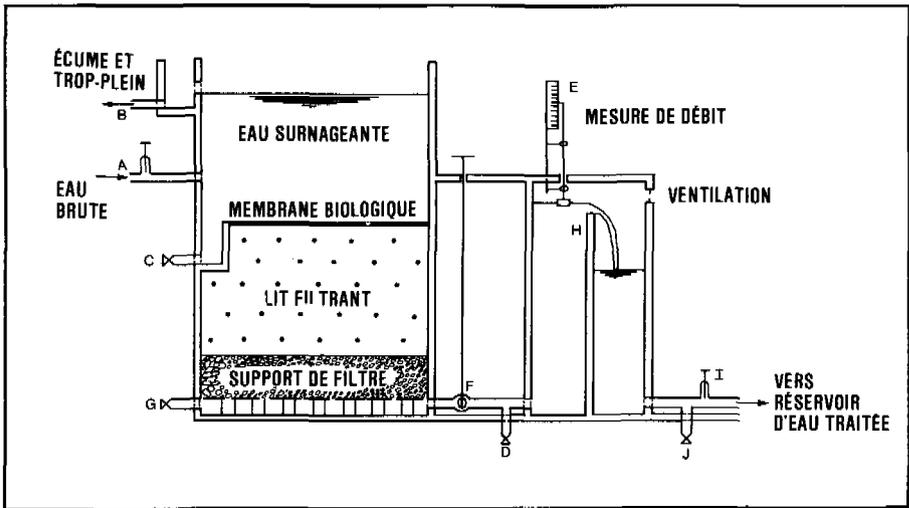


Fig. 3.1.
Éléments de base d'un filtre lent à sable.

La couche d'eau surnageante :

La couche d'eau surnageante a un double but: tout d'abord elle fournit une pression d'eau suffisante pour faire passer l'eau brute à travers le lit de matériau filtrant; en second lieu, elle donne naissance à un temps de séjour de plusieurs heures pour l'eau à traiter; durant cette période, les particules peuvent décanter et/ou s'agglomérer, ou être soumises à d'autres processus physiques ou (bio)chimiques. Il ne faut cependant, en aucun cas, considérer la "réserve" d'eau surnageante comme un bassin de décantation ordinaire. Si l'eau brute présente une teneur relativement forte en matières en suspension, il y a lieu de réaliser une installation de prétraitement,

afin d'éviter le colmatage rapide du filtre lent à sable (voir également paragraphes 3.4, 3.5 et 3.8).

Une hauteur convenable de la couche d'eau surnageante est de 1 mètre (fourchette 1 - 1,5 mètres). La pratique normale consiste à maintenir le niveau de l'eau surnageante à une valeur constante, mais il existe différents modes d'exploitation (par exemple: vitesse à filtration décroissante. ■1)

Les parois du réservoir d'eau surnageante doivent être assez hautes pour permettre un franc-bord[■] de 0,2 - 0,3 m au-dessus du niveau de l'eau.

En vue de l'élimination des mousses[■], le réservoir d'eau surnageante peut être équipé d'un dispositif (manuel) d'écrémage et d'un canal d'évacuation des mousses. Le réservoir doit comporter également un déversoir de trop-plein, qui renvoie l'eau excédentaire à la source d'eau brute.

Le lit de matériau filtrant :

Le milieu filtrant doit se composer de grains inertes et durables. On choisit normalement du sable (lavé). Ce sable doit être exempt d'argile et de limon, et aussi, de préférence, de matières organiques.

Le matériau filtrant est caractérisé par sa grosseur effective[■] et son coefficient d'uniformité[■]. On choisit normalement une taille dans la fourchette de 0,15 - 0,35 mm. Lorsqu'on ne peut pas se procurer de sables naturels répondant à cette caractéristique, il est possible d'obtenir la valeur souhaitée de grosseur effective en mélangeant deux types de sables. En dernière analyse, on peut recourir à un tamisage.

■1) voir Glossaire.

Le coefficient d'uniformité doit de préférence être inférieur à 2, bien que des valeurs jusqu'à 5 puissent être acceptées. En vue du fonctionnement convenable du processus d'épuration, il faut prévoir pour le lit filtrant une hauteur minimum de 0,6 mètre.

Etant donné que la couche supérieure (10 - 20 mm) du lit filtrant devra être enlevée régulièrement au cours du service (voir paragraphes 3.3 et 3.7), il faut prévoir un filtre neuf avec un lit filtrant de 1 mètre de hauteur (fourchette 1 - 1,4 m), de telle sorte qu'il ne soit pas nécessaire de recharger le lit plus d'une fois toutes les quelques années.

Le réseau de drains :

Ce réseau de drains répond à un double but: il assure un passage sans obstacle pour la collecte de l'eau traitée, et il soutient le lit de matériau filtrant, ce qui garantit une vitesse de filtration uniforme sur toute la surface du filtre.

Le réseau de drains peut présenter diverses configurations, comme par exemple une couche de gros gravier ou de pierres durables concassées, ou des structures de drains principaux et latéraux, réalisés en tuyaux perforés ou non jointoyés, en blocs de béton ou en briques (voir Fig. 5.12). Ce réseau de drains est recouvert de couches de graviers.

Le gravier est disposé en couches, en commençant par les fragments de grosse taille à la base, et en diminuant progressivement le diamètre jusqu'au haut.

Le gravier empêche l'entraînement de grains de matériau filtrant dans le réseau de drainage.

Y compris les couches de graviers, le réseau de drainage devrait avoir une hauteur de 0,5 mètre (fourchette 0,4 - 0,7 m), voir Fig. 5.12.

Dispositifs de régulation et de contrôle du filtre :

Nous indiquons ci-dessous les opérations les plus importantes à réguler et commander par des vannes, des déversoirs ou autres dispositifs. Un certain nombre d'accessoires adéquats seront décrits au paragraphe 5.6.

- amenée de l'eau brute dans le réservoir d'eau surnageante, jusqu'à niveau constant dans le bassin de filtration (A dans la Fig. 3.1),
- évacuation de l'eau excédentaire et des mousses au moyen d'un déversoir de trop-plein (B à la Fig. 3.1),
- évacuation de l'eau surnageante avant nettoyage du filtre (C à la Fig. 3.1),
- évacuation de l'eau de la couche supérieure du lit filtrant (D à la Fig. 3.1),
- mesure du taux de débit d'eau effluente[■] au moyen d'un dispositif étalonné de mesure de débit (E à la Fig. 3.1),
- régulation de la vitesse de filtration (F à la Fig. 3.1),
- recharge du lit filtrant avec de l'eau propre après nettoyage du filtre (G à la Fig. 3.1),
- prévention de dépressions[■] dans le lit filtrant (H à la Fig. 3.1),
- amenée de l'eau traitée dans le réservoir de stockage de l'eau épurée (I à la Fig. 3.1), ou dans l'égout (J à la Fig. 3.1).

D'après la description qui précède des éléments de base d'un filtre lent à sable, il ressort que, la fondation (0,15 m) comprise, la hauteur verticale totale du bassin étanche doit être d'environ 3 mètres (fourchette 2,8 - 3,5 m). Les matériaux de construction couramment employés sont les agglomérés ou le béton armé, le ciment armé, la pierre naturelle ou la maçonnerie de briques. Le bassin filtrant, le chenal d'effluent et le réservoir de stockage d'eau traitée doivent être étanches pour deux raisons: en vue d'éviter les pertes d'eau et, dans le cas d'un niveau élevé de la nappe phréatique, empêcher l'intrusion de l'eau souterraine, qui risquerait de contaminer l'eau traitée.

3.3. Principe du procédé d'épuration

L'épuration débute dans la couche d'eau brute surnageante, où les grosses particules vont se déposer sur le lit filtrant, et où les particules plus fines peuvent s'agréger en floccs décantables par des interactions physiques ou (bio)chimiques.

Sous l'influence de la lumière solaire, des algues vont se développer, en produisant de l'oxygène utilisable à d'autres fins dans la couche d'eau surnageante et dans le lit filtrant.

Le nombre de bactéries va diminuer, et il se produira une certaine réduction des matières organiques, résultant de la consommation par les algues ou d'une oxydation chimique.

L'élimination des impuretés et l'amélioration considérable de la qualité physique, chimique et bactériologique de l'eau brute s'effectue, en majeure partie, dans le lit filtrant et notamment dans la membrane biologique en haut du lit filtrant. Dans cette couche abondent des micro-organismes tels qu'algues, plancton, diatomées et bactéries qui, grâce à leur formidable activité biologique, dégradent la substance organique. Une forte proportion des matières minérales en suspension est en outre retenue par effet de tamisage.

Au fur et à mesure que l'eau traverse le lit, elle change constamment de direction, de sorte que les particules véhiculées par l'eau entrent en contact avec les grains du filtre par divers mécanismes de transport. Les grains se recouvrent d'une couche gluante de matières essentiellement organiques, couche qui à son tour absorbe ces particules par divers mécanismes de fixation. En même temps, les micro-organismes actifs (bactéries, protozoaires, bactériophages) de la couche gluante entourant les grains se nourrissent des impuretés retenues, et aussi se dévorent réciproquement. De cette façon, les matières organiques dégradables, dont les bactéries et les virus d'origine fécale, sont progressivement décomposées et converties en eau, en gaz carbonique et en sels minéraux inoffensifs. La zone grouillante de vie où s'accomplissent ces mécanismes épuratoires

s'étend jusqu'à 0,4 - 0,5 m de la surface du lit filtrant, mais son activité diminue graduellement au fur et à mesure que l'eau s'épure et renferme moins de matières organiques et d'éléments nutritifs. A une plus grande profondeur dans le lit filtrant, les produits des processus biologiques sont éliminés davantage encore par des processus physiques (adsorption) et une action chimique (oxydation).

Les mécanismes de transport, de fixation et d'épuration qui viennent d'être décrits n'agissent de manière effective, pour l'eau à traiter, que si on laisse à l'eau un temps de séjour suffisant dans le filtre. Et en particulier, lorsque la filtration lente sur sable constitue le principal procédé de traitement, il faut maintenir la vitesse de filtration à une valeur comprise entre 0,1 et 0,2 mètre/heure (ou 0,1 - 0,2 m³/m² de surface du filtre par heure). Un autre paramètre important, pour le processus épuratoire, est la teneur en oxygène de l'eau. L'activité de la biomasse diminue considérablement si la teneur en oxygène de l'eau dans le filtre tombe à moins de 0,5 mg/l. S'il se crée un état d'anaérobiose, diverses impuretés gênantes peuvent être introduites dans l'eau par la biomasse.

Des phénomènes de ce genre peuvent être évités par une aération de l'eau brute (voir paragraphe 3.8), une prédécantation de l'eau brute (voir Annexe 2), ou le recyclage d'une partie de l'effluent aéré dans le réservoir d'eau surnageante.

Une teneur en oxygène de plus de 3 mg/l, dans l'effluent du filtre, est le but normal à atteindre. Comme une eau présentant cette teneur en oxygène ne convient pas très bien pour des alimentations publiques, il faut pratiquer une aération complémentaire de l'eau filtrée.

A cet effet, on installe, dans le chenal de sortie, un simple déversoir de trop-plein qui répond à un double but quant à l'aération. Ce déversoir augmente la teneur en oxygène de l'eau filtrée et, en même temps, abaisse la teneur en gaz carbonique et en certains autres gaz gênants dissous, introduits dans l'eau sous forme de sous-produits des processus biochimiques. Pour favoriser ce

processus, il faut munir la chambre du déversoir d'une cheminée de ventilation.

Le déversoir de sortie a deux fonctions plus importantes: il évite la dépression dans le lit filtrant, en assurant un niveau minimum de trop-plein légèrement supérieur au niveau maximum du lit filtrant, et il rend le fonctionnement du lit filtrant indépendant des fluctuations du niveau de l'eau dans le réservoir d'eau traitée.

3.4. Rendements de filtres lents à sable

L'action du processus épuratoire sur la qualité de l'eau dépend de nombreux facteurs, comme la qualité de l'eau brute, la vitesse de filtration, la granulométrie du matériau filtrant, la température et la teneur en oxygène de l'eau. Pour des conditions de marche normales, on trouvera au tableau 3.1 un résumé de la performance moyenne de filtres lents à sable en ce qui concerne l'élimination de certaines impuretés.

Pour une source d'eau brute spécifique quelconque, on peut tester le fonctionnement de filtres lents à sable au moyen d'une petite installation pilote, constituée par exemple de bidons à huile.

Les algues peuvent jouer un rôle positif dans le rendement de filtres lents à sable. Elles sont à même de produire de la matière cellulaire à partir de minéraux simples tels que l'eau, le gaz carbonique, les nitrates et les phosphates, libérant ainsi de l'oxygène qui, à son tour, est bénéfique pour d'autres processus biochimiques. Les algues peuvent aussi consommer des matières organiques et en transformer une partie en substance cellulaire plus biodégradable; leur présence peut améliorer la qualité de la membrane biologique.

D'autre part, une trop forte teneur en algues, dans l'eau brute surnageante, peut compromettre le bon fonctionnement du filtre par suite de colmatage ou de l'apparition d'un état d'anaérobiose lorsque périssent de trop grosses quantités d'algues. Une collecte régulière des algues ou la couverture des filtres sont de bonnes méthodes pour résoudre ces problèmes.

*Tableau 3.1.
Rendement de filtres lents à sable*

Paramètres	Effet épuratoire
Matières organiques	Les filtres lents à sable produisent un effluent limpide, virtuellement exempt de matières organiques.
Bactéries	On peut éliminer de 99 à 99,99 % des bactéries pathogènes; les cercaires de schistosomes, les cystes et les oeufs sont éliminés à un degré encore plus élevé. <i>E. coli</i> est diminué de 99 à 99,9 %.
Virus	Dans un filtre lent à sable "mûr", les virus sont éliminés de façon virtuellement complète.
Coloration	Diminuée de manière notable.
Turbidité	Des turbidités de l'eau brute de 100 - 200 NTU ne peuvent être tolérées que pendant quelques jours; une turbidité dépassant 50 NTU n'est admissible que quelques semaines; la turbidité de l'eau brute devrait de préférence être inférieure à 10 NTU. Pour un filtre correctement conçu et exploité, la turbidité de l'effluent est inférieure à 1 NTU.

Certains types d'algues ont une action nuisible sur le rendement des filtres, comme par exemple des cycles de filtration courts malgré des critères théoriques corrects. S'il se produit une prolifération de ces algues, la couverture des filtres peut s'avérer nécessaire.

Une autre conséquence du développement d'algues est une variation quotidienne de la consommation d'oxygène et, par suite, de la teneur en oxygène de l'effluent.

Ceci s'explique par le fait qu'à la lumière du jour, les algues produisent plus d'oxygène qu'elles n'en consomment, mais la nuit, c'est l'inverse qui se passe.

Par voie de conséquence, la teneur en oxygène de l'effluent sera minimum à l'aube, tandis qu'elle sera maximum en fin d'après-midi.

3.5. Possibilités et limites d'emploi des filtres lents à sable

La filtration lente sur sable est une méthode efficace pour éliminer les matières organiques et les organismes pathogènes.

Elle constitue donc un traitement particulièrement adéquat pour des eaux de surface renfermant des quantités indésirables de telles impuretés. La turbidité des eaux superficielles peut cependant imposer des limites au rendement de filtres lents à sable, de sorte que bien souvent, il peut être nécessaire de pratiquer un pré-traitement; voir tableau 3.1 et les deux derniers paragraphes de ce chapitre.

L'emploi des filtres lents à sable comportent certaines limites car ils exigent une vaste superficie et une quantité importante de matériau filtrant. En outre, il peut être nécessaire de réaliser des toitures coûteuses pour empêcher l'accès de la lumière solaire, si l'on s'attend au développement de quantités inacceptables de certains types d'algues. Une autre limite d'emploi peut résider dans de brusques variations de la qualité de l'eau brute, susceptibles de perturber le fonctionnement de filtres biologiques, comme par exemple une turbidité élevée en saison des pluies (ou peut-être la présence de résidus industriels toxiques).

A part la possibilité de se procurer un matériau filtrant approprié et l'apparition de turbidités élevées durant certaines périodes, les limites ci-dessus ne s'appliquent pas, normalement, aux zones rurales et aux zones périphériques urbaines de pays en développement, ou bien on peut y remédier sans contraintes graves.

3.6. Avantages des filtres lents à sable

Comparativement à d'autres procédés de traitement destinés à éliminer les matières organiques, les organismes pathogènes, la turbidité et la couleur, la filtration lente sur sable présente de nombreux avantages. C'est la seule opération unitaire connue qui réalise, à un aussi haut degré, l'amélioration simultanée de la qualité physique, chimique et bactériologique de l'eau brute. Dans les pays en développement, il existe un certain nombre d'avantages particuliers, tels que:

- la simplicité de conception, de réalisation et d'exploitation, qui permet la mise en oeuvre de matériaux et de personnel que l'on peut trouver localement, avec une surveillance technique limitée; des tuyauteries et accessoires courants sont seuls nécessaires, et il n'est besoin d'aucun équipement ou instrumentation spéciaux,
- si l'on dispose de matériaux en quantité suffisante pour les lits filtrants, le coût de la construction est relativement faible,
- les importations de matériel et d'équipement sont à peu près négligeables et, sauf pour une désinfection possible ou une chloration de sécurité de l'effluent, aucun produit chimique n'est nécessaire. (Si, pour des eaux extrêmement troubles, on recourt à des techniques d'avant-garde pour le prétraitement, comme la floculation/coagulation[■], des quantités considérables de réactifs peuvent s'avérer nécessaires),
- l'exploitation et l'entretien peuvent être effectués par un personnel semi-spécialisé; un filtre lent à sable ne nécessite pas de lavage à contre-courant (contrairement à un filtre rapide à sable),
- il peut falloir de l'énergie uniquement pour pomper l'eau brute dans le réservoir d'eau "surnageante"; le processus de filtration s'accomplit par gravité; il n'existe pas d'autres parties mécaniques entraînées par l'électricité,

- les fluctuations peuvent être absorbées, à la condition que la turbidité ne devienne pas excessive pendant une longue période,
- il n'est pas besoin d'eau de lavage pour le nettoyage du filtre; par suite, on réalise une certaine économie d'eau comparativement à d'autres modes de filtration,
- la manutention des boues ne soulève pas de problèmes; les boues existent en faible quantité et ont une très forte teneur en matières sèches.

3.7. Exploitations et entretien de filtres lents à sable

A la condition d'avoir été correctement conçu et réalisé, un filtre lent à sable ne demande que de simples opérations de routine d'exploitation et d'entretien. Sauf certaines analyses physiques, chimiques et bactériologiques d'échantillons d'eau épurée, toutes les activités d'exploitation et d'entretien peuvent être effectuées par de la main-d'oeuvre locale. Ces opérations d'exploitation et d'entretien sont décrites de manière complète dans un autre document (9).

Des analyses complètes d'échantillons d'eau peuvent être exécutées périodiquement par les autorités médicales de district, bien que l'on puisse apprendre à l'exploitant à pratiquer lui-même quelques tests normalisés simples. A cet égard, on pourra se référer à la Monographie N° 63 de l'O.M.S. (13).

Nous énumérons ci-dessous quelques-unes des principales opérations d'exploitation et d'entretien.

- Mise en service initiale d'un filtre:

Lorsque la construction du filtre est terminée, on charge le lit filtrant avec de l'eau propre prise au fond du filtre, afin d'expulser les bulles d'air contenues dans les interstices du sable.

Lorsque le niveau de l'eau surnageante dépasse largement le

haut du lit de sable (0,1 m), on peut admettre l'eau à traiter par l'arrivée d'eau brute, de manière à ne pas provoquer de turbulence dans l'eau surnageante (voir paragraphe 5.3). Lorsque l'eau surnageante atteint le niveau théorique, on ouvre la vanne d'évacuation D (voir Fig. 3.1), et on fait couler l'effluent à l'égout ou vers un autre filtre à un taux (contrôlé par la vanne de régulation du filtre F) égal au quart environ du taux de filtration normal.

Il faut alors faire fonctionner le filtre pendant quelques semaines pour permettre à la membrane biologique de se former, ainsi que les couches visqueuses autour des grains du lit filtrant; c'est ce qu'on appelle le "processus de maturation".

Au cours de ce processus, on augmente graduellement la vitesse de filtration jusqu'à ce qu'elle atteigne la valeur théorique. Après des analyses physiques, chimiques et bactériologiques comparatives de l'eau brute et de l'eau filtrée, indiquant que le filtre fonctionne correctement, on peut fermer la vanne de sortie D et diriger l'effluent sur le réservoir d'eau traitée en ouvrant la vanne I.

- Manoeuvre de la vanne de régulation du filtre:

Après un processus correct de "maturation", le filtre va fonctionner avec de bons résultats pendant plusieurs semaines, la vanne de régulation F étant presque complètement fermée.

A ce moment, tandis que la membrane biologique se colmate, on ouvre graduellement la vanne, un peu chaque jour, afin de compenser la perte de charge dans la membrane biologique et de maintenir le taux de débit à une valeur constante.

On peut mesurer le débit au moyen d'un compteur Venturi[®], placé immédiatement à l'amont de la vanne de régulation, ou d'un dispositif indicateur à flotteur situé dans la partie amont de la chambre du déversoir (voir Fig. 3.1 et paragraphe 5.6).

- Déversoir flottant de sortie:

Un déversoir flottant de sortie (voir Fig. 3.2), placé dans une chambre de déversoir de même hauteur que le bassin filtrant peut remplacer à la fois le système de mesure du taux de débit et la vanne de régulation du filtre indiqués à la Fig. 3.1.

Le taux de débit d'un déversoir flottant est déterminé par la dimension de l'entrée et la profondeur d'immersion de celle-ci. En ajustant la profondeur d'immersion de l'entrée, le déversoir flottant règle le taux de débit d'effluent à une valeur prédéterminée, tandis que la résistance hydraulique de la vanne de régulation du filtre est remplacée par un niveau plus élevé de l'eau filtrée dans le compartiment du déversoir.

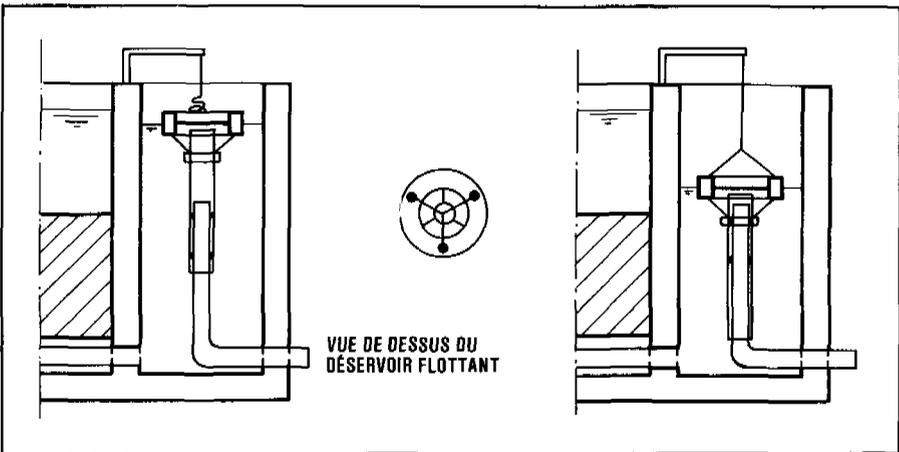


Fig. 3.2.
Fonctionnement d'un déversoir flottant de sortie.

Le déversoir flottant doit normalement être muni d'une chaînette qui l'empêche de descendre au-dessous d'un certain niveau (niveau minimum de la crête du déversoir d'effluent). La descente à ce niveau indique que le cycle de filtration est arrivé à son terme. La chaînette est utilisée également pour fermer le filtre en tirant le déversoir flottant jusqu'au haut du compartiment du deversoir.

Pour rendre ce mode d'exploitation indépendant du niveau de l'eau traitée dans le réservoir d'eau pure, il y a lieu d'installer un autre déversoir d'effluent dans la partie "entrée" du réservoir d'eau traitée. La crête de ce déversoir d'effluent et l'entrée du déversoir flottant, à son niveau minimum toléré, doivent tous deux se trouver à une certaine distance (0,2 m par exemple) au-dessus du niveau supérieur du lit filtrant, afin d'éviter toute dépression.

La pression hydrostatique de l'eau, dans la conduite du déversoir flottant, est déterminée par le niveau de la crête du déversoir d'effluent dont il vient d'être question. Pour permettre la recharge d'un filtre après une opération de nettoyage, il y a lieu d'augmenter de 0,2 m environ la longueur de la chaîne fixée au déversoir flottant. De cette façon, l'eau filtrée issue d'autres filtres va pénétrer en sens inverse par le déversoir flottant et entrer dans le lit filtrant à partir du réseau de drains.

- Nettoyage du filtre:

Lorsque, au bout d'une période de fonctionnement de quelques semaines ou quelques mois, la vanne de régulation est ouverte en grand et que le taux de débit commence à décroître, la résistance de la membrane biologique est devenue trop élevée, et il faut nettoyer le filtre. On ferme la vanne d'admission d'eau brute A et on fait baisser le niveau de l'eau surnageante en poursuivant pendant quelques heures le processus de filtration. L'eau surnageante qui reste est évacuée en ouvrant la vanne de drainage C. Enfin, on abaisse le niveau d'eau dans le filtre à environ 0,2 m au-dessous de la surface du lit en ouvrant la vanne de drainage D.

La membrane biologique est alors enlevée avec précaution, avec emploi de pelles plates, la période de nettoyage devant être la plus courte possible pour éviter toute détérioration du lit filtrant et les dégâts éventuels causés par les oiseaux nécrophages. La membrane biologique, ainsi que le sable enlevé avec elle, peuvent être envoyés à la décharge, ou être lavés pour réutilisation.

Lorsqu'on nettoie un filtre, il faut augmenter en consé-

quence la vitesse de filtration dans les filtres restants, afin d'obtenir le débit normal de l'installation. Les méthodes à suivre pour la remise en marche d'un filtre nettoyé ("période de rematuration") sont similaires à celles appliquées pour la mise en service initiale d'un nouveau filtre, bien que les périodes nécessaires pour la remise en charge (quelques heures) et la rematuration (quelques jours) soient beaucoup plus courtes que lors de la mise en service initiale.

- Ajustement du niveau de l'eau surnageante:

Dans des conditions normales de fonctionnement, le niveau de l'eau surnageante doit être maintenu à une valeur aussi constante que possible.

Ce résultat peut être obtenu par la manoeuvre manuelle d'une vanne A, ou au moyen d'un déversoir de trop-plein B, qui renvoie l'eau excédentaire à la source d'eau brute. On adopte de préférence la combinaison de la vanne et du déversoir de trop-plein.

Si l'eau brute est amenée à l'installation de filtration par pompage, il y a lieu de maintenir au minimum le volume d'eau de trop-plein, afin de réaliser des économies sur les dépenses d'énergie.

- Régulation du niveau du déversoir d'effluent:

La crête du déversoir d'effluent H ne devrait pas se trouver au-dessous d'un niveau dépassant légèrement la surface du lit filtrant, afin d'éviter l'établissement d'une dépression dans le lit.

Si le déversoir d'effluent est constitué par une structure rigide (voir Fig. 3.1), il y a lieu de prendre des précautions spéciales, au cours de la (re-)charge en sable du filtre, en vue d'éviter que le haut du lit filtrant dépasse la crête de ce déversoir.

- Recharge en sable d'un filtre:

Au bout de quelques années de fonctionnement (environ 3 à 4

ans) et après environ 20 à 30 raclages, le lit filtrant atteint sa hauteur minimum admissible, et il faut ajouter du matériau filtrant, neuf ou lavé, afin de ramener le lit à sa hauteur initiale. Le nouveau matériau filtrant doit être placé sous les 30 à 50 cm supérieurs de l'ancien matériau, parce qu'on appelle l'opération de "retournement". Voir Fig. 3.3.

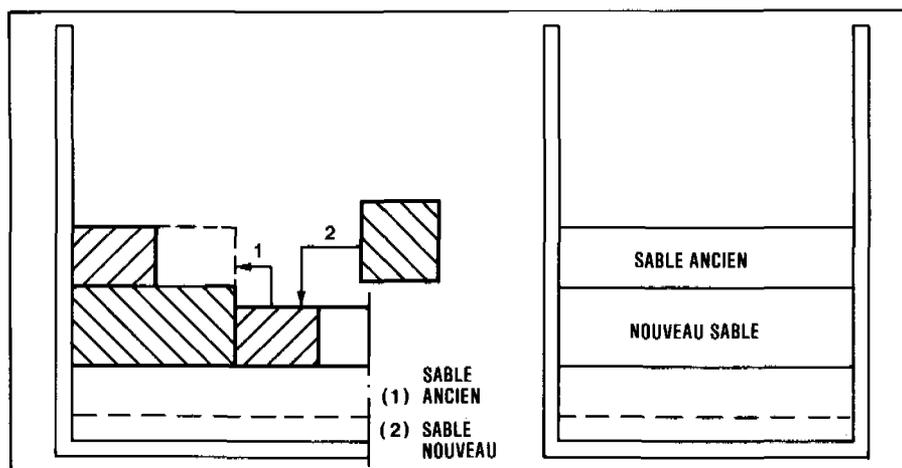


Fig. 3.3.
Opération de 'retournement'.

Par ce procédé, la couche supérieure, - la plus riche en vie microbiologique, - est replacée au haut du filtre, ce qui permet au filtre rechargé de redevenir opérationnel au bout d'une période minimum de rematuration.

Autres modes de fonctionnement

- Filtration à vitesse décroissante:

La filtration à vitesse décroissante commence dès qu'on ferme la conduite d'alimentation en eau brute vers le réservoir d'eau surnageante, tandis que la vanne de régulation du filtre est maintenue dans la même position. L'eau surnageante est alors filtrée à une vitesse continuellement décroissante, par suite d'une diminution continue de la charge exercée par l'eau surnageante.

Ce mode de fonctionnement peut être appliqué pendant la nuit et permet de réaliser des économies sur les frais de main-d'oeuvre et les frais d'investissement.

Si l'on pratique la filtration à vitesse décroissante, le niveau minimum de la crête du déversoir d'effluent doit se trouver à 0,2 m au-dessus du haut du lit filtrant. Cette façon de procéder évite une hauteur trop faible d'eau surnageante à la fin d'une période de filtration à vitesse décroissante. Si cette hauteur d'eau descend à moins de 0,2 m, elle peut occasionner des phénomènes désagréables, comme la détérioration de la membrane biologique par des oiseaux prédateurs, la dessiccation du lit filtrant par évaporation, etc..

A la suite d'une période de filtration à vitesse décroissante, le réservoir d'eau surnageante doit être rechargé à son niveau normal, afin de permettre la filtration à vitesse théorique. Cette recharge doit être effectuée aussi rapidement que possible (sans endommager la membrane biologique), afin d'utiliser au maximum la capacité de production.

On peut normalement admettre une période d'une heure environ pour effectuer cette opération de recharge. Les pompes d'eau brute et les appareils éventuels de prétraitement doivent être conçus en accord avec ce mode d'exploitation.

- Marche intermittente:

En marche discontinue, le processus de filtration est complètement interrompu durant certaines périodes (par exemple pendant la nuit). Cela signifie que non seulement la conduite d'alimentation du réservoir d'eau surnageante est fermée, mais aussi la conduite d'évacuation vers la chambre du déversoir. A cet effet, il est recommandé d'installer une vanne supplémentaire sur la conduite d'effluent, afin de pouvoir maintenir la vanne de régulation du filtre en position de fonctionnement, laquelle remplit correctement son rôle dès que le processus de filtration est remis en marche.

Il existe encore quelques autres modes de fonctionnement,

mais l'étude de tous ces procédés dépasserait le cadre de ce manuel.

3.8. Prétraitement et post-traitement en combinaison avec des filtres lents à sable

Prétraitement:

Pour des filtres lents à sable, un prétraitement est indispensable si la turbidité de l'eau brute atteint une valeur dépassant 50 NTU pendant des périodes excédant quelques semaines, ou des valeurs supérieures à 100 NTU pendant des périodes dépassant quelques jours.

Les moyens de prétraitement les plus simples et les mieux appropriés sont la filtration par le lit de la rivière, le stockage et la décantation simple. La filtration rapide de "dégrossissage" et la préfiltration à circulation horizontale sur matériau à forte granulométrie (6, 7) sont d'autres techniques convenables de prétraitement.

Dans ce paragraphe, nous allons discuter brièvement ces méthodes de prétraitement; on trouvera à l'Annexe 2 des renseignements plus détaillés.

La filtration par le lit de la rivière peut être utilisée pour traiter des eaux brutes de turbidité assez faible (10 - 20 NTU); des turbidités allant jusqu'à 200 NTU peuvent être tolérées pendant de courtes périodes. Le principe de l'épuration est basé sur l'élimination des solides en suspension dans un lit de matériau filtrant granuleux, situé dans le chenal de la rivière.

Le stockage doit être pratiqué si la turbidité moyenne annuelle dépasse 1000 NTU. Les matières en suspension sont éliminées par décantation naturelle et par des processus biologiques.

La décantation simple peut être appliquée pour des turbidités moyennes annuelles de l'eau brute de 20 à 100 NTU. Des turbidités allant jusqu'à 400 NTU ne sont pas admissibles, pour ce mode de traitement, pendant des périodes dépassant quelques semaines.

La filtration rapide de "dégrossissage" peut être pratiquée avec succès comme méthode de prétraitement pour des eaux brutes avec turbidités de 20 à 100 NTU, s'il est possible de se procurer facilement des matériaux adéquats comme la fibre de noix de coco ou un gros gravier. Une telle filtration peut être réalisée dans un bassin filtrant similaire à celui du filtre lent à sable. Dans ce cas, la fibre de noix de coco ou le gros gravier jouent le rôle de matériau filtrant.

Pour des eaux brutes avec turbidité jusqu'à 150 NTU, on peut pratiquer une préfiltration à circulation horizontale sur matériau grossier. Comme milieux filtrants, on utilise le gros gravier ou de la pierre concassée; le bassin filtrant est comparable à celui utilisé pour la décantation simple.

Une aération de l'eau brute, ou le recyclage d'eau traitée, enrichie en oxygène, dans le réservoir d'eau surnageante, s'avèrent nécessaires si la consommation d'oxygène, dans le lit filtrant, conduit à un état d'anaérobiose. Une aération de l'eau brute au moyen d'un simple déversoir de trop-plein, avant l'entrée dans le réservoir d'eau surnageante, peut être suffisante.

Post-traitement:

Le seul post-traitement pouvant être nécessaire pour l'effluent d'un filtre lent à sable est la chloration de sécurité, qui vise principalement à empêcher le développement ultérieur de bactéries dans les réservoirs ou le réseau de distribution. Il faut aussi l'appliquer à titre de précaution si la source d'eau brute est fortement polluée par des matières organiques d'origine fécale, par exemple pour une eau brute ayant une numération et E. coli de 10000 par 100 ml ou davantage (désinfection).

Un exemple de système de chloration adéquat est décrit à l'Annexe 3.

3.9 Guide pour le choix d'un système de traitement de l'eau

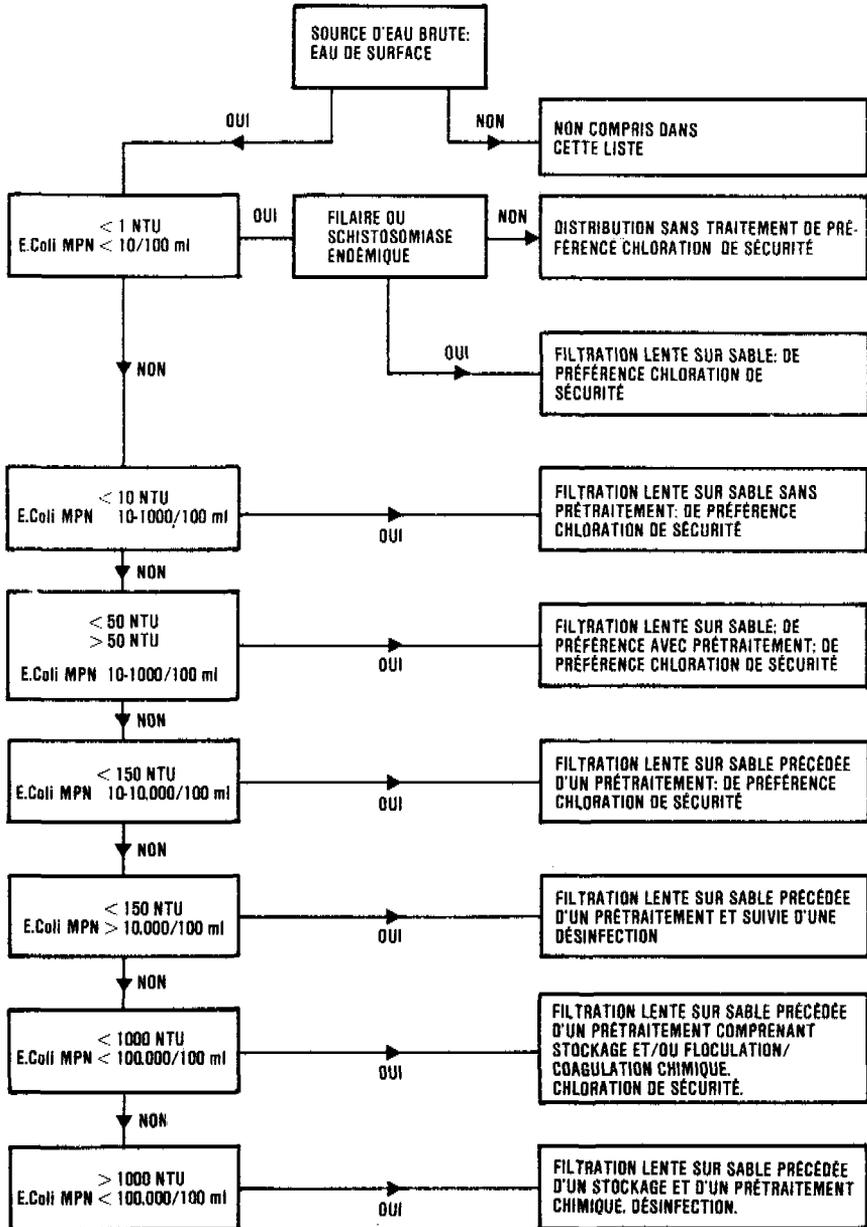
Dans les paragraphes précédents, nous avons étudié des sujets comme le rendement de filtres lents à sable, leurs avantages et leurs limitations, et diverses techniques de prétraitement et de post-traitement. On peut en conclure que la filtration lente sur sable constitue une excellente méthode pour améliorer notablement la qualité physique, chimique et bactériologique de la plupart des eaux de surface dans les pays tropicaux en développement.

Par ailleurs, nous avons signalé que les filtres lents à sable sont sensibles à certains paramètres de qualité des eaux brutes. A cet égard, la turbidité de l'eau brute est d'une importance cruciale pour l'étude du dispositif total de traitement (en particulier le choix de l'unité de prétraitement). Un autre paramètre important, pour le système total de traitement (en particulier le choix du mode de post-traitement), est la qualité bactériologique de l'eau brute. A ce sujet, on utilise E. coli comme organisme indicateur.

Sur la base des deux paramètres mentionnés, - turbidité et teneur en E. coli, - le tableau 3.2 donne un mode opératoire pour le choix d'un système de traitement d'eau comportant une filtration lente sur sable.

Tableau 3.2.

Guide pour le choix d'un système de traitement d'eau comportant une filtration lente sur sable



4.

Conception d'installations de filtration lente sur sable

4.1. Introduction

Ainsi qu'il a été dit plus haut, les objectifs essentiels d'un réseau d'alimentation en eau sont: la disponibilité, la quantité, la qualité, et la fiabilité. Une alimentation en eau convenable doit fournir à la population une eau de bonne qualité, en quantités suffisantes, et avec une fiabilité maximale.

C'est à l'auteur de projet qu'il incombe de transformer ces objectifs théoriques en une conception réaliste et économique, tenant compte des circonstances et des possibilités locales. En exécutant ce travail lourd de responsabilité, l'auteur de projet sera constamment amené à prendre des décisions sur des points importants, dont la plupart ont trait à:

1. la structure du réseau d'alimentation en eau, c'est-à-dire le choix de la source d'eau brute, le mode de traitement et le réseau de distribution

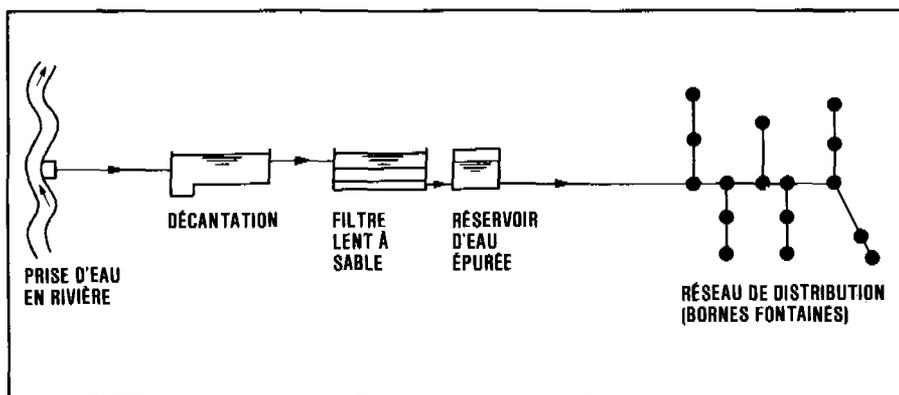


Fig. 4.1.
Structure d'un réseau d'alimentation en eau

2. au dimensionnement du réseau d'alimentation en eau, c'est-à-dire la détermination de l'emplacement et la dimension des divers éléments et l'usine en soi

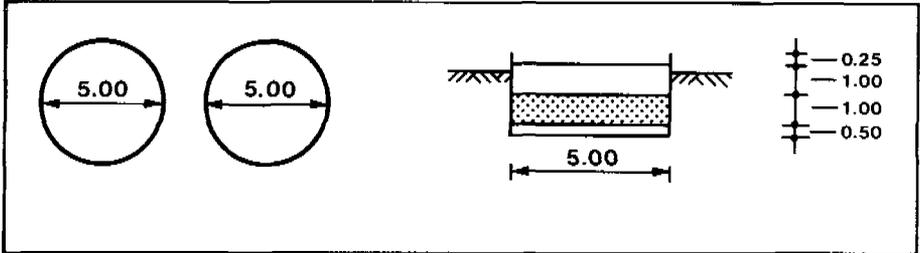


Fig. 4.2.
Dimensionnement de filtres lents à sable.

3. la spécification des éléments, c'est-à-dire la désignation détaillée des constructions et accessoires

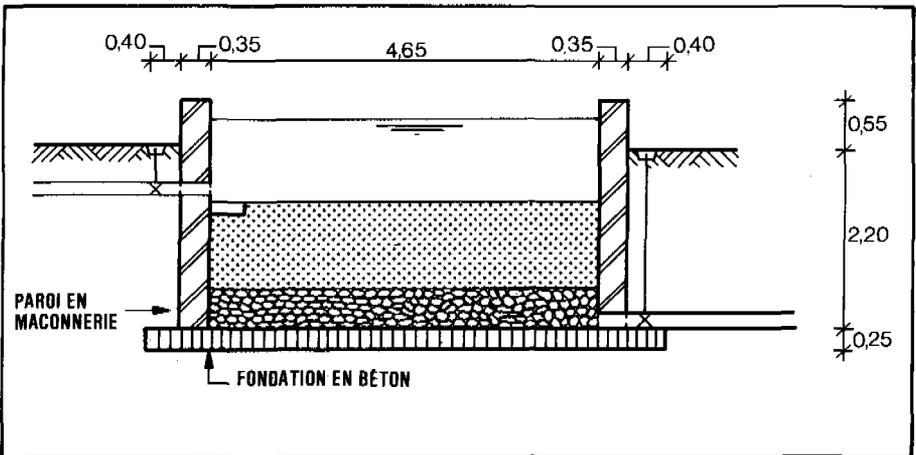


Fig. 4.3.
Spécification d'un filtre lent à sable.

En pratique, la structure et le dimensionnement d'un réseau d'alimentation en eau constituent d'ordinaire la conception préliminaire, que l'on peut utiliser en vue de collecter des fonds et pour des fins de planning et d'organisation. Ces parties de la conception seront examinées dans ce chapitre. Dans le chapitre suivant, nous ti-

rons au clair la spécification des éléments, qui éventuellement peut conduire à la conception définitive.

4.2. Critères généraux de calcul

La conception d'un filtre lent à sable et, en fait, de n'importe quel élément d'un réseau d'alimentation en eau, est une question complexe. Huisman et Wood (1) sont arrivés au coeur du problème en disant que "la filtration lente sur sable est encore un art, plutôt qu'une science". Et, contrairement à une science, on ne saurait enseigner un art en donnant des règles et des directives.

Il est cependant possible d'indiquer une approche, que l'on peut suivre avec succès lorsqu'on fait la conception d'un réseau d'alimentation en eau englobant une filtration lente sur sable.

En général, les critères suivants sont applicables:

1. Au cours de la durée de service théorique prévue[■], il ne faut en aucun cas que la qualité de l'eau d'alimentation se déprécie en-deçà de certaines limites, comme indiqué au chapitre 3.

Cela implique qu'il y a lieu de prendre des mesures pour remédier à une détérioration future (possible) de la qualité de l'eau brute, à des défaillances d'éléments critiques du réseau et à un mauvais fonctionnement du système de traitement, dû à des pannes d'exploitation ou à des conditions défavorables (par exemple basse température). A cet égard, un filtre lent à sable présente des caractéristiques favorables, c'est-à-dire une assez grande souplesse vis-à-vis des variations de qualité de l'eau brute et un fonctionnement s'adaptant spontanément.

2. L'alimentation en eau doit avoir une capacité telle qu'à aucun moment de la durée de service, il ne se produise de (graves) pénuries d'eau. Cette condition est moins dure que la précédente, car, alors que la dégradation de la qualité de l'eau peut causer

l'apparition immédiate de maladies épidémiques, les conséquences d'une pénurie d'eau paraissent se limiter à certaines inconvénients. La population peut toutefois être tentée de prendre son eau à des sources non protégées, de sorte que la dépréciation de qualité de l'eau doit elle aussi être limitée au minimum. Ceci peut conduire à l'intégration d'appareils de réserve, de réservoirs de stockage d'eau et, peut-être, de réservoirs de distribution surélevés[■], etc..

3. La technologie appliquée doit être telle que l'exploitation, l'entretien, et de préférence les réparations, soient dans les limites de compétence de la population locale.

Dans les pays en développement, ceci peut signifier le rejet de techniques d'avant-garde et l'incorporation et la mise au point d'une technologie adéquate. Les appareils doseurs de produits chimiques, très sensibles, devraient être rejetés en faveur d'appareils hydrauliques[■] ou (mieux encore) être rendus inutiles par le choix judicieux d'une source d'eau brute et d'une méthode de traitement.

La filtration lente sur sable est un très bel exemple d'une méthode de traitement sûre, entrant dans les limites de capacité des habitants de la plupart des villages dans les pays en développement.

4. Le coût de construction du réseau devrait être réduit au minimum, en accord avec les impératifs de bonne qualité de l'eau et de durée de service des éléments. Ceci implique l'utilisation économique de matériaux, en particulier de ceux qu'il faut importer.

Bien que les frais de main-d'oeuvre puissent évidemment influencer le coût de construction, on a le sentiment que ce poste devrait être considéré séparément. Dans les projets avec aide spontanée, par exemple, la main-d'oeuvre est fournie gratis par la population qui doit bénéficier du résultat.

5. Les frais d'exploitation du réseau doivent être minimales. C'est là une raison supplémentaire pour éviter le dosage de produits chimiques, dans la mesure du possible. En outre, une structure hydraulique optimale a pour conséquence une diminution des frais de pompage. Les appointements des exploitants peuvent imposer une lourde charge au budget de petites collectivités. On peut ainsi décider de ne faire fonctionner la prise d'eau et la station de traitement que 8 ou 16 heures par jour seulement (1 ou 2 postes, voir également paragraphe 4.3). Dans ce cas, un vaste réservoir de distribution, placé à une hauteur suffisante, sera nécessaire pour assurer un approvisionnement continu.

6. Le mode de construction du réseau devrait, de préférence, être tel qu'il soit de la compétence d'entreprises locales. L'utilisation d'éléments de construction préfabriqués et des moyens de construction d'avant-garde sont à éviter, en particulier dans les projets à petite échelle. Il y aurait lieu d'imposer des normes adéquates de continuité et de précision.

Il est clair que ces conditions ne constituent qu'un cadre, dans lequel l'auteur de projet peut et doit prendre de nombreuses décisions techniques.

Le paragraphe suivant illustre une bonne approche de l'étude d'un réseau d'alimentation en eau.

4.3. Exemple de calcul

Considérons un village de 1200 habitants, dépourvu de réseau d'alimentation publique en eau. Les gens vont chercher l'eau dans des jarres et des bidons à la rivière voisine. Comme la rivière est polluée par des excréments animaux et humains, il se produit fréquemment des cas de maladies infectieuses, et on exprime le besoin d'un réseau fiable d'alimentation en eau.

Le premier facteur important à déterminer, lorsqu'on fait le projet d'un nouveau réseau d'alimentation en eau, est la durée de

service théorique. C'est la période pendant laquelle le réseau étudié doit être capable de fournir à la population une eau de qualité et en quantité convenables. Cette période ne doit pas être trop courte (non inférieure à 10 ans par exemple), pour des raisons de fonctionnement sans incidents, mais pas trop longue non plus (par exemple non supérieure à 50 ans), pour des raisons de prévisibilités et d'économie.

Pour notre village, la durée de service théorique est fixée à 15 ans, de sorte qu'après une période de conception du projet et de réalisation de 2-3 ans, la capacité de l'installation restera convenable pendant au moins 12-13 ans.

Stade 1: durée de service théorique: 15 ans.

La durée de service théorique peut différer de la durée économique[■] ou physique[■] des divers éléments de la construction. En général, on admet les durées d'amortissement[■] suivantes, bien que, - pour des raisons économiques - les organismes de financement puissent demander des périodes beaucoup plus courtes pour le remboursement des capitaux[■] :

Eléments de constructions	25 ans
Parties mécaniques	15 ans
Equipements électriques	15 ans

Une fois fixée la durée de service théorique, il faut déterminer la population théorique desservie, en tablant, dans la mesure du possible, sur des études de prévisions démographiques. Si l'on dispose de renseignements de ce genre, on peut en déduire les chiffres d'accroissement de la population et les prévisions pour la durée de service théorique, en tenant compte de facteurs socio-économiques tels que planning familial, migrations, fluctuations de la prospérité et changements dans les soins médicaux. Pour notre village, il n'existe pas de renseignements de cet ordre, mais selon des enquêtes et des

estimations des taux de naissances et de mortalité et des chiffres de migrations, l'ingénieur-auteur de projet est arrivé à un taux annuel de croissance^m de 3 %.

A l'aide du tableau suivant, on peut déterminer le facteur d'accroissement de la population^m comme étant de 1,56 (pour une durée de service théorique de 15 ans):

Durée de service théorique (années)	Taux de croissance annuel (%)		
	2	3	4
10	1,22	1,34	1,48
15	1,35	1,56	1,80
20	1,49	1,81	2,19

Cela veut dire qu'en l'espace de 15 ans, la population a des chances d'atteindre un chiffre de $1,56 \times 1200 = 1872$, disons 1900 habitants.

Stade 2: Population théorique: 1900 habitants.

Il faut ensuite déterminer les besoins en eau théoriques. Nous avons déjà étudié au Chapitre 2 les facteurs qui influent sur les besoins en eau. Pour notre village, on fait choix d'un réseau de distribution avec divers réservoirs surélevés, et la consommation d'eau est évaluée à 30 l par habitant et par jour (journée maximum^m dans la durée de service théorique). En incluant les pertes et le gaspillage, estimés à 33 %, la demande en eau va être de 40 l par habitant et par jour. On peut maintenant calculer comme suit la demande d'eau journalière théorique:

$$1900 \text{ (hab.)} \times 40 \text{ (l/hab.j)} = 76 \text{ m}^3/\text{jour.}$$

Stade 3a: Demande d'eau journalière théorique: $76 \text{ m}^3/\text{j.}$

La demande d'eau horaire théorique est estimée à 20 % de la

demande journalière, c'est-à-dire 8 l/habitant.jour (heure maximum⁸ dans la durée de service théorique). Ce chiffre est important en ce qui concerne la détermination du réservoir d'eau traitée et des conduites de distribution. La demande d'eau horaire théorique peut être calculée comme suit:

$$1900 \text{ (hab.)} \times 8 \text{ (l/hab.h)} = 15,2 \text{ m}^3/\text{h}, \text{ disons } 15 \text{ m}^3/\text{h}.$$

Stade 3b: Demande d'eau horaire théorique: $15 \text{ m}^3/\text{h}$.

Pour notre village, sur la base d'estimations de l'eau utilisée pour la cuisson des aliments, les lavages, etc., l'auteur de projet en est arrivé au schéma journalier suivant pour l'utilisation de l'eau:

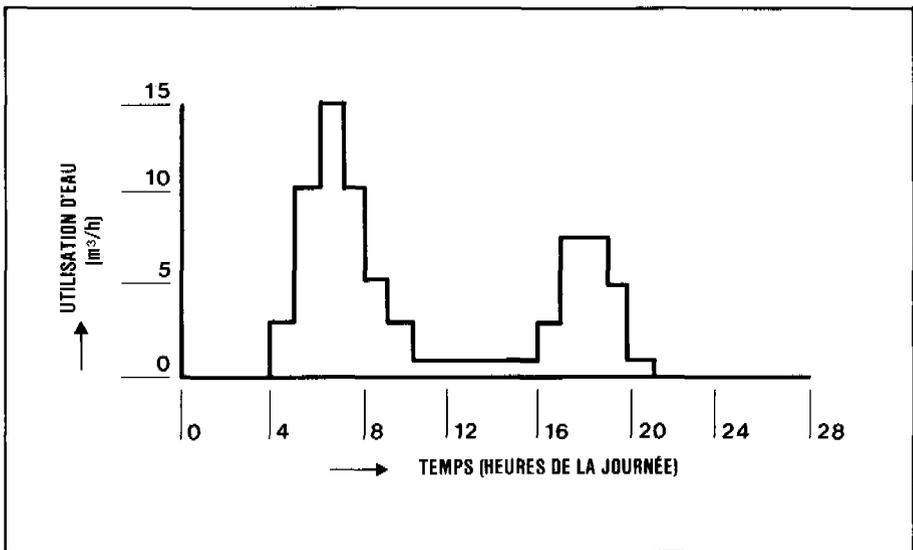


Fig. 4.4.
Diagramme quotidien d'utilisation d'eau.

Une fois établie la demande d'eau théorique, il faut préciser davantage la disposition du réseau d'alimentation en eau. Il y a

lieu de choisir une source convenable d'eau brute et des méthodes de traitement appropriées, conformément aux conditions préalables indiquées. Ce mode opératoire a déjà été esquissé au Chapitre 3. D'après des renseignements relatifs aux propriétés géologiques du sous-sol et à la suite de quelques forages d'essai réalisés avec un appareillage simple (voir Annexe 4), on a trouvé que pour notre village, il n'existait pas de nappe souterraine à une profondeur raisonnable, de sorte qu'on a pris la décision de prélever dans la rivière voisine l'eau pour le réseau public d'alimentation.

La rivière prend sa source dans les hauts-plateaux et, bien qu'on ne dispose pas de données hydrologiques, on estime que le débit minimum, en saison sèche, ne descendra pas à moins de 400 l/s. Le prélèvement maximum envisagé de 15 m³/h représentera donc 1 % seulement du débit minimum, ce qui est tout à fait acceptable.

Stade 4: Source d'eau: rivière.

D'après des indications fournies par des organismes officiels situés à l'amont, on a trouvé que les paramètres de qualité de l'eau se situent tous dans des limites acceptables pour la consommation humaine (voir Annexe 1), à l'exception de la turbidité (5 à 100 NTU) et des paramètres microbiologiques (MPN^m E. coli 100 - 1000 par 100 ml), tandis que la demande chimique en oxygène^m (DCO) est également assez élevée (4-8 mg/l). Un certain nombre d'échantillons prélevés sur la site de la prise d'eau envisagée (un à faible débit et un à fort débit), envoyés aux autorités du district pour analyse chimique et microbiologique, confirment ces observations.

D'après la liste de contrôles décrite au Chapitre 3.9, il est décidé de traiter l'eau de rivière par simple décantation, suivie d'une filtration lente sur sable. On pense que ce genre de traitement doit ramener la turbidité à moins de 1 NTU et la DCO à 2-4 mg/l, tandis que les paramètres microbiologiques seront conformes aux prescriptions pour l'eau potable.

Stade 5: Mode de traitement: Décantation simple et filtration lente sur sable.

Il faut maintenant déterminer l'emplacement de la prise d'eau, en tenant compte des fluctuations de la qualité de l'eau dues à l'existence d'écoulements massifs dans la rivière et de la stabilité de la rive (un endroit à l'intérieur d'un coude de la rivière sera favorable, car les vitesses d'écoulement sont faibles et les particules en suspension peuvent décanter). Il faut qu'une profondeur d'eau suffisante existe en tout temps, ce qui peut restreindre les emplacements possibles du site. Compte tenu de la contamination possible de l'eau de la rivière par des excréments provenant du village, la prise d'eau pour la station de traitement sera placée à l'amont du village.

Stade 6: Emplacement de la prise d'eau: à l'amont du village.

L'implantation de la station de traitement est le point suivant à envisager. L'emplacement de la prise d'eau et le réseau de distribution sont des facteurs qui évidemment ont une influence sur ce point. Cependant, l'existence d'une zone adéquate, d'une bonne topographie, de propriétés favorables du sol et de nappes souterraines sont des facteurs encore plus importants.

La compressibilité et la capacité portante du sol sont les caractéristiques qui conditionnent le type de fondations. Il est clair que des fondations sur piliers et poteaux sont à éviter si possible.

On trouvera à l'Annexe 4 la description de quelques méthodes simples d'étude du sol, pouvant être utilisées lors de l'étude d'une station de traitement d'eau.

Une nappe phréatique proche de la surface du sol rend les fouilles difficiles, et un drainage, soit à découvert, soit au moyen de parois filtrantes, est alors nécessaire. Il va sans dire que ceci ajoute à la complexité et au prix de revient de l'étude. De plus, une nappe phréatique peu profonde présente l'inconvénient de nécessiter des précautions spéciales pour empêcher à la fois la pollution de l'eau traitée par l'eau souterraine et l'obligation de réaliser la construction sous pression d'eau. Nous étudierons de plus près, au chapitre suivant, l'influence des propriétés du sol et de la nappe phréatique sur la conception du bassin filtrant et des accessoires.

Notre village a été assez heureux pour trouver, près de la prise d'eau, une zone convenable pour la station de traitement, de sorte que le (ou les) opérateur(s) pourront facilement surveiller les pompes d'eau brute.

Stade 7: Emplacement: près de la prise d'eau.

Il faut maintenant envisager la disposition de la station de traitement. La disposition qui convient le mieux est fonction de nombreux facteurs, dont les plus importants sont l'importance de la station, les matériaux de construction employés et la possibilité d'extensions ultérieures. On trouvera au Chapitre 6 des configurations possibles.

Le dimensionnement des filtres est assez simple une fois qu'on a déterminé le mode d'exploitation et la vitesse de filtration théorique, fixée d'ordinaire à 0,1 m/h.

Une marche continue pendant 24 heures par jour assure évidemment le maximum de production par lit filtrant, mais d'autre part, il va falloir 3 postes, de sorte que le montant des salaires des opérateurs va être relativement élevé. Il est donc recommandé d'équilibrer le coût de la surface supplémentaire des lits filtrants par

rapport au montant des salaires des opérateurs (il ne faut de pompage en aucun cas, une marche continue à un seul poste peut être possible). Un autre point important à cet égard est le fait que l'on peut faire fonctionner les filtres pendant une partie de la journée à ce qu'on appelle la filtration à vitesse décroissante. C'est ce qui se passe lorsque l'exploitant ferme la vanne d'arrivée d'eau brute, à la fin de son poste de travail, et arrête les pompes d'eau brute, mais laisse ouverte la vanne de sortie du filtre.

L'eau surnageante s'écoule à travers le filtre à une vitesse qui diminue constamment. Si l'on admet une vitesse de filtration de 0,1 m/h et un niveau de l'eau surnageante de 0,9 m au-dessus de la crête du déversoir d'effluent, on peut calculer qu'au bout de 8 heures le niveau de l'eau aura baissé d'environ 0,5 m, et au bout de 16 heures, d'environ 0,7 m. Cela représente une production supplémentaire d'eau de $0,5 \text{ m}^3/\text{m}^2$ par jour pour 8 heures, et de $0,7 \text{ m}^3/\text{m}^2$ par jour pour 16 heures de filtration à vitesse décroissante. La surface nécessaire des lits filtrants peut être diminuée en proportion.

Modes d'exploitation	Surface nécessaire des lits filtrants (m ²)	Nombre d'opérateurs
3 postes (marche 24 heures)	31,7	3
2 postes et filtration à vitesse décroissante pendant la nuit (8 h)	36,2	2
2 postes	47,5	2
1 poste divisé en 4 heures le matin et 4 heures le soir, filtration à vitesse décroissante dans l'intervalle (16 h)	42,2	1
1 poste et filtration à vitesse décroissante pendant la nuit (16 h)	50,7	1
1 poste	95,0	1

Nous indiquons, sur la page précédente, la surface filtrante nécessaire et le nombre d'opérateurs pour la demande en eau journalière théorique de $76 \text{ m}^3/\text{j}$, avec différents modes d'exploitation.

La surface filtrante nécessaire peut être calculée au moyen de la formule générale suivante:

$$X = \frac{Q}{V (a + b)}$$

- où:
- X = surface filtrante nécessaire (m^2)
 - Q = demande en eau journalière théorique (m^3)
 - V = vitesse de filtration théorique de $0,1 \text{ m/h}$
 - a = nombre quotidien d'heures de production en marche normale (c'est-à-dire vitesse de filtration de $0,1 \text{ m/h}$)
 - b = si la période journalière de filtration à vitesse décroissante est:
 - de 8 ou 16 heures consécutives; on peut estimer le nombre équivalent d'heures de production en marche normale à 5 ou 7 heures respectivement.
 - 0 si on ne pratique pas la filtration à vitesse décroissante.

Pour notre village, il a été décidé de faire fonctionner la station à un poste et avec filtration à vitesse décroissante pendant la nuit. De façon empirique, on peut dire que pour de petites stations (c'est-à-dire moins de $300 \text{ m}^3/\text{j}$), c'est ce mode d'exploitation qui convient le mieux. Pour des stations de capacité comprise entre 300 et $600 \text{ m}^3/\text{j}$, 2 postes suivis d'une filtration à vitesse décroissante peuvent convenir, tandis que pour des stations plus importantes, 3 postes représenteront probablement la meilleure solution.

Stade 8: Mode d'exploitation: 1 poste (8 h) et filtration à vitesse décroissante la nuit (16 h).

On peut lire, dans le tableau qui précède, la surface nécessaire des lits filtrants.

Stade 9: Surface filtrante nette: $50,7 \text{ m}^2$; disons 52 m^2 .

La surface totale des lits filtrants étant connue, il faut encore déterminer le nombre de filtres. La dimension la mieux appropriée, pour une installation de filtration, est affectée par de nombreuses considérations de construction, technologiques et d'exploitation, ainsi qu'il sera expliqué au Chapitre 5.

Dans le cas de notre village, une bonne solution pourrait être de choisir 2 filtres, avec chacun une surface nette de 26 m^2 . De cette façon, l'arrêt de l'un des filtres impliquerait une augmentation de la charge de l'autre filtre jusqu'à $0,2 \text{ m/h}$ au maximum, ce qui est tout à fait acceptable. De plus, il serait judicieux de réserver de la place pour un troisième bassin futur de 26 m^2 .

Stade 10: Dimensions des filtres: 2 filtres de chacun 26 m^2 , hauteur 3 m.

Les dimensions de l'installation de prétraitement (décantation simple) peuvent être déterminées sur la base des critères de calcul indiqués à l'Annexe 2.

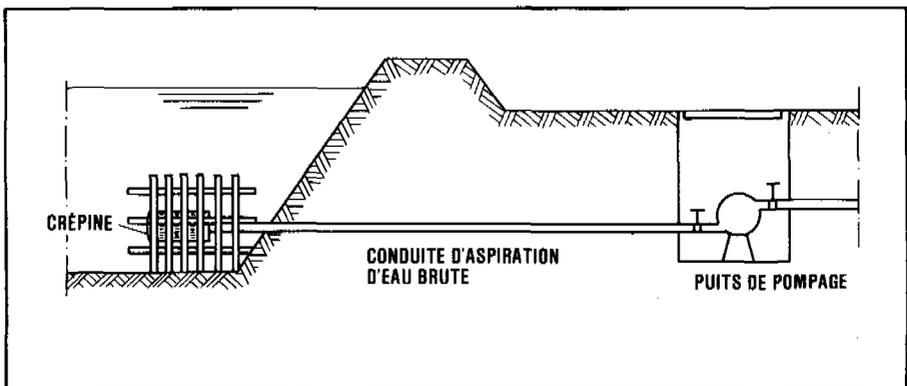


Fig. 4.5.
Prise d'eau à partir d'un étang de décantation.

Pour notre village, il est décidé de construire une vaste étang de décantation en réalisant une digue le long de la berge de la rivière. On fait pénétrer l'eau dans l'étang, et les matières en suspension vont décanter.

Stade 11: Dimensions du bassin de décantation:

profondeur 6 m
superficie 1140 m²
temps de séjour 3 mois

La marche des filtres à vitesse décroissante demande des prévisions particulières dans l'alimentation en eau brute. Comme le niveau dans les filtres descend de 0,7 m pendant la nuit, il va falloir, au matin, fournir aux filtres un fort débit d'eau. Cela veut dire qu'il faudra soit augmenter la capacité des pompes, soit construire un réservoir de stockage surélevé. L'avantage de ce dernier procédé est que même pendant la nuit, on peut laisser l'eau couler vers les filtres, ce qui augmente encore la production d'eau.

Les dimensions du réservoir d'eau traitée peuvent être déterminées d'après l'allure journalière de l'utilisation d'eau et la production d'eau par les filtres. En supposant que le poste de travail de l'opérateur débute à 7 h du matin et se termine à 15 h, la production journalière d'eau peut être représentée par la Fig. 4.6.

La différence totale entre la consommation d'eau (indiquée à la Fig. 4.4) et la production d'eau (donnée à la Fig. 4.6) détermine l'importance du réservoir d'eau traitée. Si l'on ne dispose pas de chiffres, on peut fixer le volume du réservoir d'eau traitée à 50 % de la production journalière (règle empirique). D'après la Fig. 4.7, on peut voir que pour notre village, un volume net égal à 30 % de la production journalière sera suffisant.

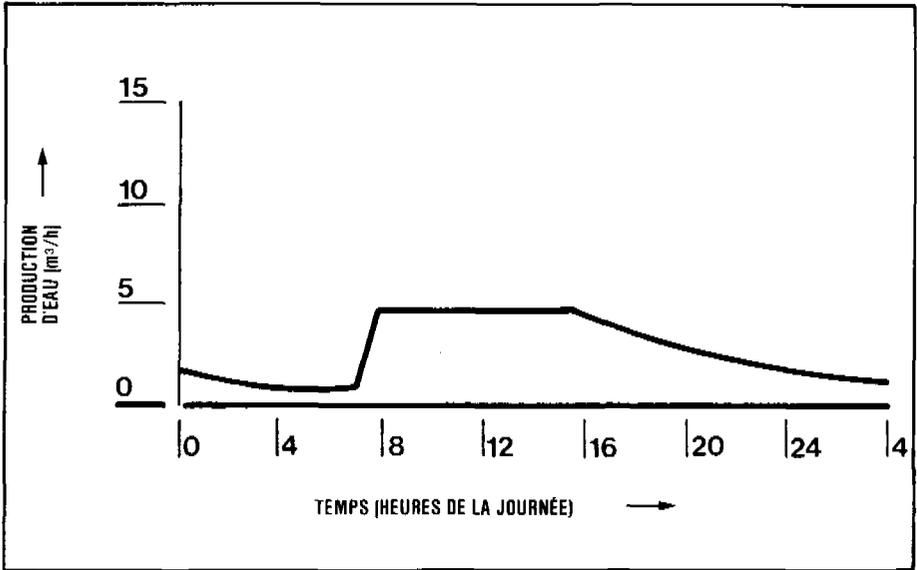


Fig. 4.6.
Allure journalière de la production d'eau.

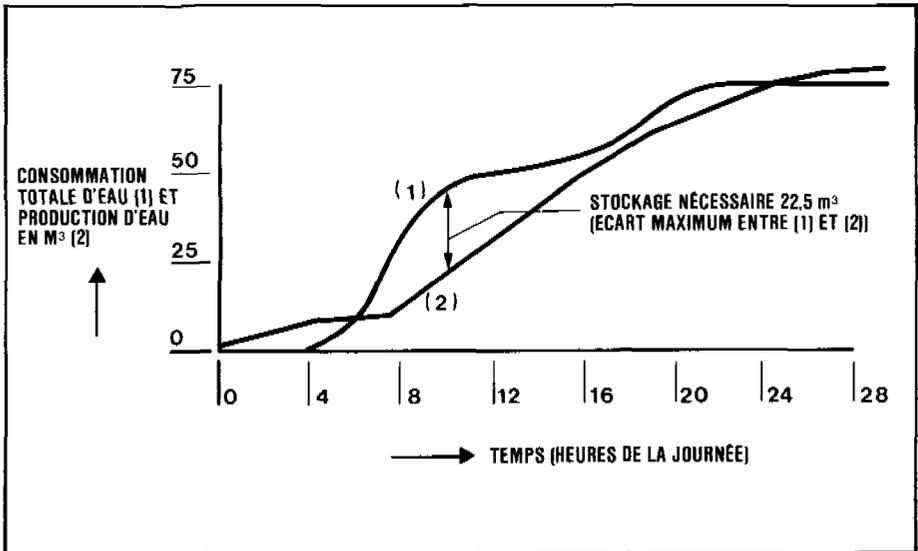


Fig. 4.7.
Production totale d'eau et consommation totale d'eau.

La capacité de stockage nette du réservoir devra donc être de $0,3 \times 76 = 22,5 \text{ m}^3$. En admettant, pour le niveau de l'eau, une fluctuation acceptable de 1,5 m, la surface nette devra être de 15 m^2 .

Stade 12: Dimensions du réservoir d'eau traitée:
 surface 15 m^2 (bassin circulaire de 4,5 m)
 hauteur 2,5 m.

La conception mécanique du réseau d'alimentation en eau (pompes à eau brute, distribution de l'eau traitée) dépend entièrement des caractères topographiques de la région concernée, ainsi que de la perte de charge dans les appareils de traitement et les systèmes de tuyauteries. Ce dernier point sera étudié au chapitre 5; en ce qui concerne le premier point, il est en général à conseiller de prévoir la station de traitement à une altitude suffisante pour permettre dans la distribution un écoulement gravitaire.

La disposition de la station de traitement est déterminée principalement par des considérations d'exploitation efficace et d'entretien; la figure 4.8 illustre une disposition typique pour une station de traitement d'eau.

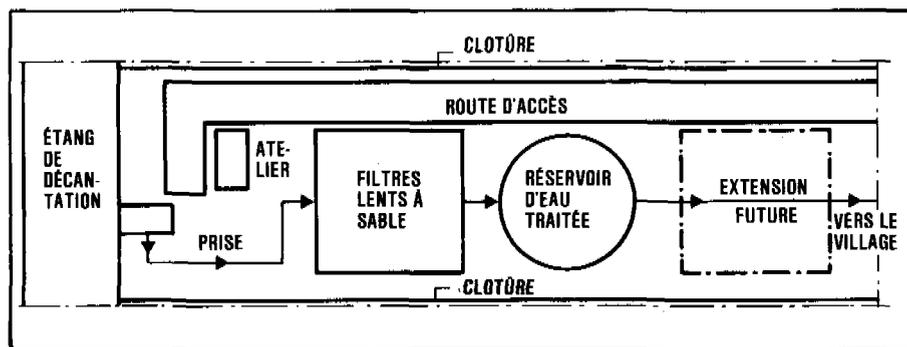


Fig. 4.8.
 Disposition typique d'une station de traitement d'eau.

Il est évident que les techniques de calcul examinées ci-dessus sont destinées à l'emploi dans les opérations préliminaires

(discussions avec les autorités, collecte de fonds), et demandent à être précisées à un stade ultérieur. La conception détaillée des installations de filtration lente sur sable et, à un degré limité, des unités de prétraitement et de post-traitement, est étudiée plus complètement au chapitre suivant. Nous résumons au paragraphe 4.4 les critères de calcul que l'on peut utiliser pour la conception de réseaux d'alimentation en eau comportant des filtres lents à sable en zones rurales.

4.4. Critères de calcul

1. Durée de service théorique:

15 ans (fourchette 10 à 25 ans).

2. Durée d'amortissement:

Eléments de construction	25 ans (15-40 ans)
Eléments mécaniques	15 ans (15-25 ans)
Eléments électriques	15 ans (15-25 ans)

3. Accroissement de la population:

Dépend entièrement des conditions locales (taux de natalité, taux de mortalité, taux de migration); susceptible en outre de changer avec le temps.

Dans la plupart des cas, l'accroissement annuel se situe entre 2 et 4 %.

4. Période d'exploitation:

8 à 24 heures par jour selon le nombre de postes (1 à 3); la filtration à vitesse décroissante prolonge la période d'exploitation à 1 ou 2 postes.

5. Besoins en eau:

Dépendent des conditions locales (voir Chapitre 2) et du système d'alimentation en eau réalisé:

Bornes fontaines	30 l/hab.j. (10 à 50 l/hab.j.)
Branchements privés (1 robinet)	50 l/hab.j. (20 à 100 l/hab.j.)

6. Qualité de l'eau:

La qualité de l'eau doit être conforme aux normes pour l'eau potable (voir Annexe 1). On peut tabler sur les améliorations maxima suivantes de qualité de l'eau par l'emploi de méthodes de traitement:

Filtration lente sur sable:

Turbidité : maximum 10 NTU
D.C.O. : 2-5 mg/l
MPN E. coli : 100-1000/100ml

Décantation + filtration lente sur sable:

Turbidité : maximum 100 NTU
D.C.O. : 2-10 mg/l
MPN E. coli : 100-1000/100 ml

Décantation + filtration lente sur sable + chloration:

Turbidité : maximum 100 NTU
D.C.O. : 2-10 mg/l
MPN E. coli : 1000-10 000/100ml

7. Bassins de décantation simple:

Profondeur 1,5 - 2,5 m
Temps de séjour 4-12 heures
Charge hydraulique 2-10 m/j.
Taux d'écoulement du déversoir 3-10 m³/m/h
Rapport longueur/largeur 4:1 à 6:1
Rapport longueur/profondeur 5:1 à 20:1

8. Filtration rapide de dégrossissage:

Vitesse de filtration 0,5 m/h (0,5 - 1m/h)
Surface par lit filtrant 10-100 m²
Nombre de lits filtrants 2 au minimum
Hauteur d'eau surnageante 1 m (1 - 1,5 m)
Hauteur initiale du lit filtrant 1 m (1 - 1,4 m)
Hauteur du réseau de drains 0,4 m (0,3 - 0,5 m)
Spécification du support de filtre voir figure 5.12

9. Préfiltration à écoulement horizontal:

Vitesse de filtration (horizontale) 0,6 m/h (0,4 - 1m/h)
Surface par lit filtrant 10-100 m²
Hauteur du lit filtrant 1 m (0,8 - 1,5 m)
Longueur 5 m (4 - 10 m)
Spécification du lit filtrant voir plan A.2.6

10. Filtres lents à sable:

Vitesse de filtration 0,1 m/h (0,1 - 0,2m/h)
Surface par lit filtrant 10-100 m²
Nombre de lits filtrants 2 au minimum
Hauteur d'eau surnageante 1 m (1 - 1,5 m)
Hauteur du lit filtrant 1 m (1 - 1,4 m)
Hauteur du réseau de drains 0,4 m (0,3 - 0,5 m)
Spécification du sable $d_{eff} = 0,15 - 0,35\text{mm}$
Coeff. d'uniformité = 2-5
Spécification du support de filtre voir figure 5.12

11. Réservoir d'eau traitée:
- | | |
|--------------------------------------|---|
| Capacité de stockage | 30-50% de la production d'eau journalière |
| Hauteur du réservoir | 2,5 - 4 m |
| Variation de niveau de l'eau traitée | 1,5 m (1 - 2 m) |
| Surface | 10-100 m ² |
12. Canalisations d'eau:
- | | |
|--|---------------|
| Vitesse de translation dans les conduites d'eau affluente, d'effluent et de drainage | 0,3 - 0,6 m/s |
|--|---------------|
13. Système de chloration:
- | | |
|--|----------------------|
| Dose maximale | 1,5 mg/l (1 - 5mg/l) |
| Temps de contact (désinfection) | 20-30 minutes |
| Durée maximum de stockage des produits chimiques | 1-6 mois selon type |

5.

Construction et specification des elements d'installations de filtration lente sur sable

Ce chapitre traite divers aspects de la conception et de la construction de filtres lents à sable. Etant donné qu'un calcul détaillé est influencé dans une large mesure par des conditions locales, il n'est pas possible de donner une méthode de "calcul standard". Le but de ce chapitre (et aussi, en fait, de ce manuel) est d'illustrer des méthodes de conception et de réalisation, plutôt que de donner des prescriptions à respecter dans tous les cas.

Pour plus de clarté, la conception sera expliquée sur la base de postes essentiels, tels que: dimensions unitaires et disposition, construction du bassin filtrant, tuyauteries, pompage et dispositifs de régulation du filtre, réseau de drains, structure de l'ouvrage d'entrée, structure de la sortie, appareils de prétraitement et de post-traitement, et stockage de l'eau traitée.

On trouvera au Chapitre 6 quatre structures typiques de stations de filtration lente sur sable.

5.1. Dimensions et disposition des filtres

Comme on l'a déjà vu au Chapitre 4, on peut obtenir la surface minimum nécessaire du lit filtrant A (en m^2) en divisant la capacité théorique[■] Q (en m^3/h) par la vitesse de filtration théorique V (en m/h). Il reste toutefois encore à déterminer le nombre de lits filtrants N et la surface par lit filtrant F (le produit de $N \times F$ étant au moins égal à A).

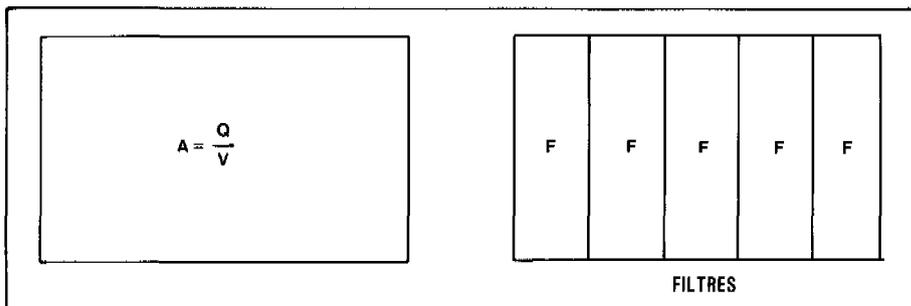


Fig. 5.1.
Dimensions du lit filtrant.

Le nombre de lits filtrants nécessaires est régi par plusieurs considérations, par exemple:

- a)- assurer un fonctionnement fiable et ininterrompu, ce qui demande au moins deux filtres (s'il existe deux lits filtrants et si l'un est en cours de nettoyage, la vitesse de filtration de l'autre lit n'excédera pas 0,2 m/h, ce qui est acceptable).
- b)- on mentionne souvent le risque de courts-circuits et d'effets de parois comme arguments contre l'utilisation de petites unités filtrantes. On a toutefois le sentiment qu'il est facile d'éviter ces phénomènes en donnant de la rugosité à la paroi du filtre, comme le montre la Fig. 5.2.
- c)- dans les pays occidentaux, on s'efforce, dans les calculs, de prévoir de grosses unités, car le prix de revient initial par m² de surface filtrante tend à diminuer pour une grandeur croissante; ce peut toutefois ne pas être le cas dans les pays en développement. Les grosses unités demandent en général des techniques de construction plus poussées (par exemple, emploi de béton armé ou précontraint) et une main-d'oeuvre mieux expérimentée, qu'il peut ne pas être possible de trouver facilement dans les pays en développement. De plus, les grosses unités peuvent nécessiter davantage de matériaux de construction pour résister aux charges plus élevées. Ce qui revient à dire que les

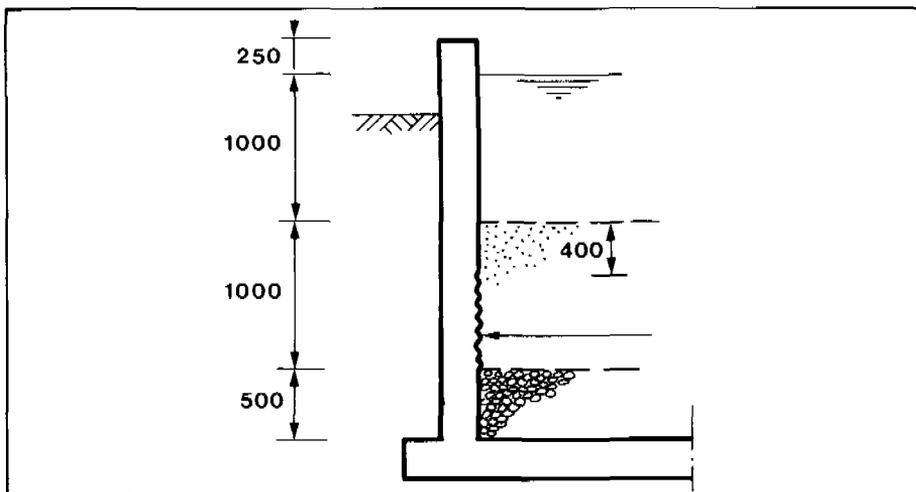


Fig. 5.2.
Mesure destinée à éviter les courts-circuits dans un filtre lent à sable.

avantages de construction, résultant de la cloison de division, dans un filtre lent à sable de longueur L , comme représenté ci-dessous, ont pour conséquence une construction moins massive de la paroi longitudinale:

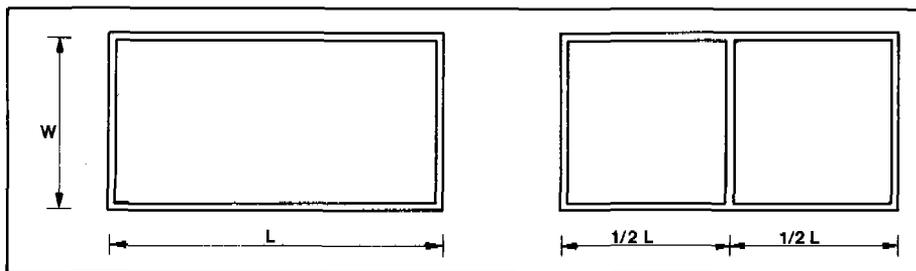
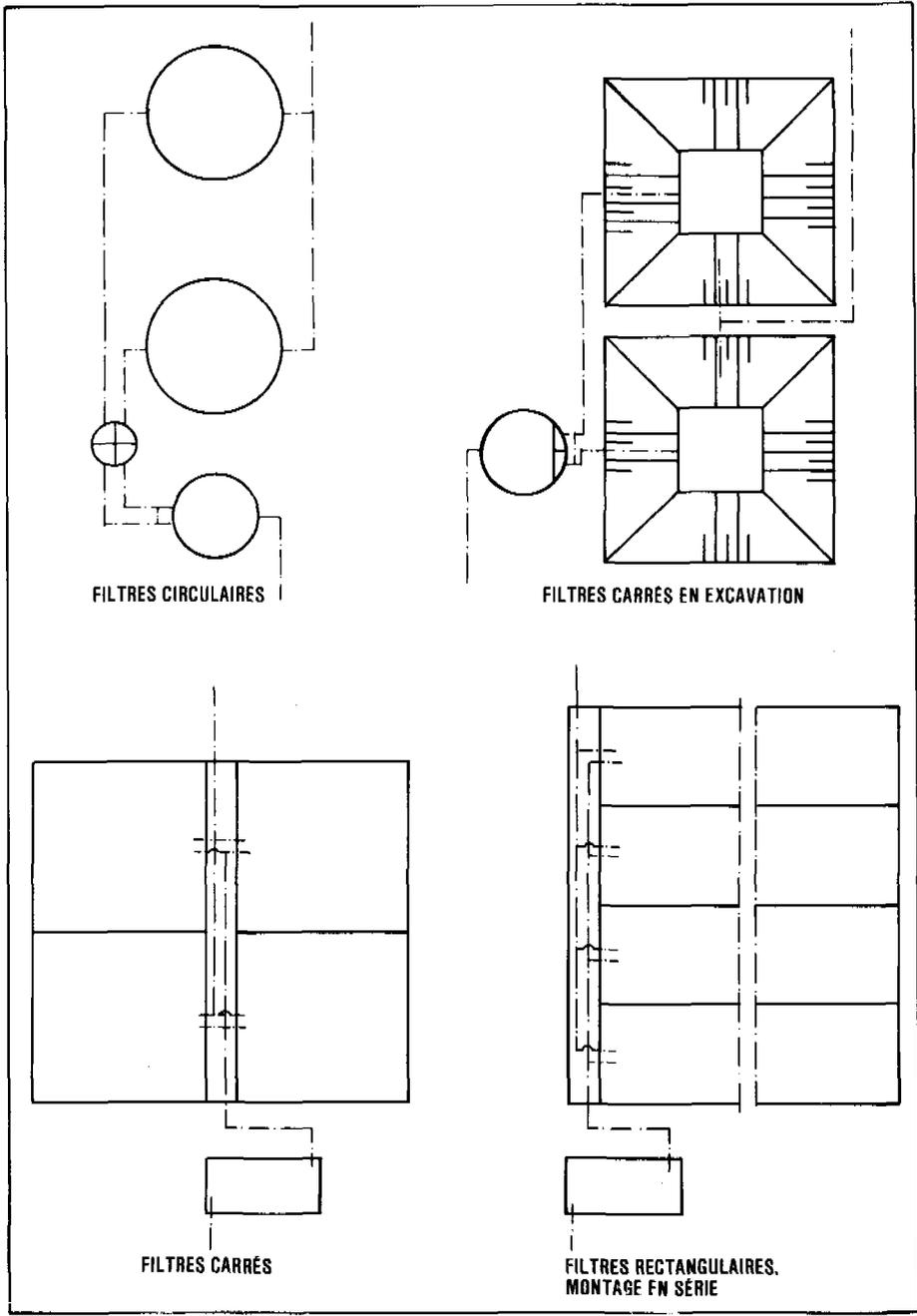


Fig. 5.3.
Cloison de division dans un filtre rectangulaire.

- d)- une construction étanche doit être garantie, en particulier si le bassin filtrant se trouve au-dessous du niveau de l'eau souterraine. Ceci signifie qu'il faut veiller particulièrement au retrait du béton et de la maçonnerie, aux tassements différentiels et aux contraintes dues à la température.

Comme ces phénomènes dépendent tous de la portée des parois, des bassins filtrants relativement petits sont avantageux à cet égard. Bien que d'autres facteurs agissent également sur ces phénomènes (par exemple, on diminue le retrait du béton en réduisant le rapport eau-ciment et la quantité de ciment et en améliorant la compression; l'affaissement est fonction des caractéristiques du sous-sol et du mode de fondation; les contraintes dues à la température dépendent du climat), il est suggéré ici, à titre de principe général, qu'une longueur maximale de 20 m ne doit pas poser de problème, tandis que de plus grandes portées peuvent nécessiter des dispositions spéciales (joint de dilatation, renforcement des côtés, etc.).

- e)- la quantité de matériaux nécessaires est influencée par le plan et la disposition des lits filtrants. On peut voir à la fig. 5.4 quelques suggestions pour la disposition d'installations de filtres lents à sable.



FILTRES CIRCULAIRES

FILTRES CARRÉS EN EXCAVATION

FILTRES CARRÉS

FILTRES RECTANGULAIRES. MONTAGE EN SÉRIE

Fig. 5.4.
Disposition de filtres lents à sable.

Les filtres circulaires présentent des avantages de structure évidents (contraintes uniformes de compression ou de tension, absence de moments de flexion), qui ont pour conséquence une utilisation économique de matériaux.

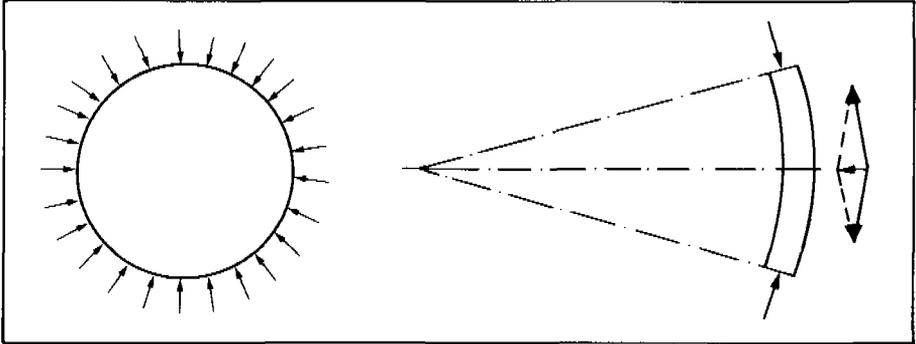


Fig. 5.5.
Principe de la pression uniforme.

Avec une importance croissante de la station de traitement, leurs inconvénients (pas de construction en série possible, pas d'accès facile aux tuyauteries et aux accessoires des filtres) tendent à contrebalancer leurs avantages.

Si, dans le cas de filtres circulaires, on fait choix de deux unités au maximum, avec un diamètre maximum de 10 mètres et une vitesse de filtration de 0,1 m/h, des filtres de ce type peuvent être avantageux pour des installations traitant jusqu'à 20 m³/h.

Des filtres rectangulaires, disposés le long d'une galerie commune des tuyauteries, conviennent au mieux pour d'assez grosses installations (3 filtres ou davantage). Les tuyauteries et les dispositifs de régulation des filtres sont facilement accessibles, l'installation est bien ordonnée et des extensions (futures) peuvent être incorporées sans aucun problème. D'un point de vue structurel, les plans rectangulaires présentent l'avantage que tous les grands côtés, sauf ceux se trouvant aux deux extrémités, sont chargés de façon symétrique, tandis que la majeure partie des forces est absorbée par

les parois courtes, ainsi que les parois longues de soutien. Cet avantage ne s'applique pas si, pour une raison ou une autre, le lit de sable de l'un des filtres est extrait.

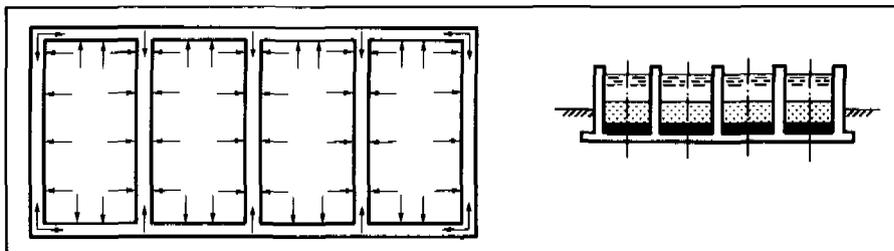


Fig. 5.6.
Diagramme des pressions pour des filtres rectangulaires.

Pour une surface donnée des lits filtrants, des filtres carrés ont une longueur totale de parois moins élevée que des filtres rectangulaires, mais ils sont moins favorables en ce qui concerne la conception structurelle. En outre, un plan carré offre des inconvénients en ce qui concerne les extensions ultérieures (on peut considérer une batterie de quatre filtres comme un maximum pour des plans carrés). Si les filtres sont réalisés en excavation, un plan carré présente l'avantage de nécessiter le minimum de travaux de terrassement.

Nous terminerons ce paragraphe par un tableau indiquant les dimensions et les formes de filtres lents à sable pour diverses capacités.

Tableau 5.1.
Dimensions et formes de filtres lents à sable pour différents capacités (pour une vitesse de filtration de 0,1 m/h)

Capacité m ³ /h	Forme circulaire D = diamètre (m)	Forme rectan- gulaire dimensions (m)	Forme carrée dimensions (m)
5	D = 5,66 (2x)	-	5 x 5 (2x)
10	D = 8 (2x)	5 x 10 (2x)	7,1 x 7,1 (2x)
20	D = 9,25 (3x)	6 x 11 (3x)	8,2 x 8,2 (3x)
50	-	6,5 x 20 (4x)	11,2 x 11,2 (4x)
100	-	6,5 x 25 (6x)	-

5.2. Construction du bassin filtrant

La construction des filtres lents à sable comporte soit un bassin fermé et rigide en béton armé, soit une structure à "charnières" semi-fermée de béton en masse, en maçonnerie, en briques ou en ciment armé, soit une structure ouverte en excavation, avec parois en pente protégées.

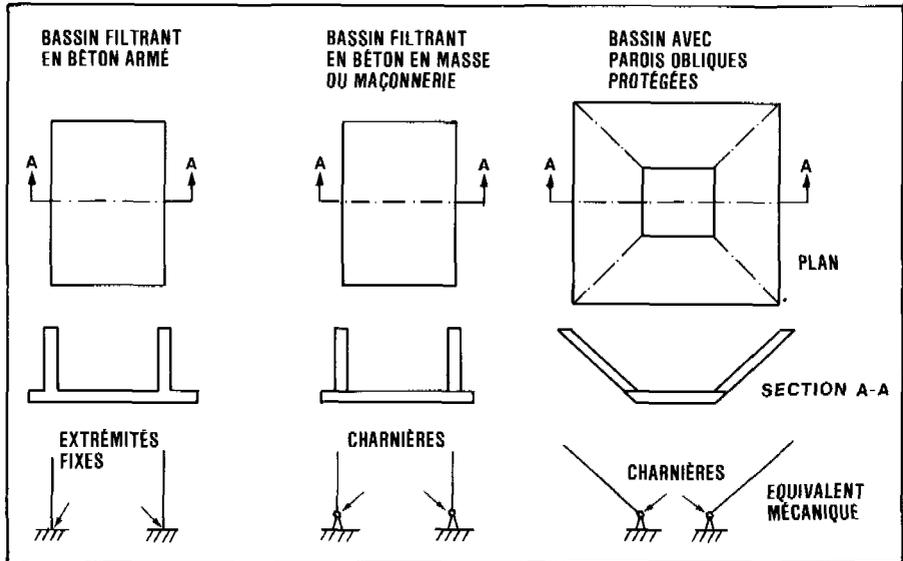


Fig. 5.7.
Conception structurelle du bassin de filtration et equivalent mécanique.

- Filtres avec parois obliques protégées

Un filtre avec parois obliques offre l'avantage d'un coût de construction moins élevé que pour des bassins fermés et semi-fermés, du fait de sa réalisation par des artisans non chevronnés. De plus, l'accès aux filtres pour nettoyage est aussi un peu plus facile et il y a moins de risque de courts-circuits le long des parois, puisque le lit de sable ayant tendance à se compacter contre les parois en pente, sous l'action des couches supérieures. Comme matériaux pour l.

revêtement, on peut choisir entre la maçonnerie, l'enrochement⁸, l'argile puddlée, le béton en masse, ou des mélanges de sable-ciment, ou du sable et bitumastic renforcé par un treillis métallique.

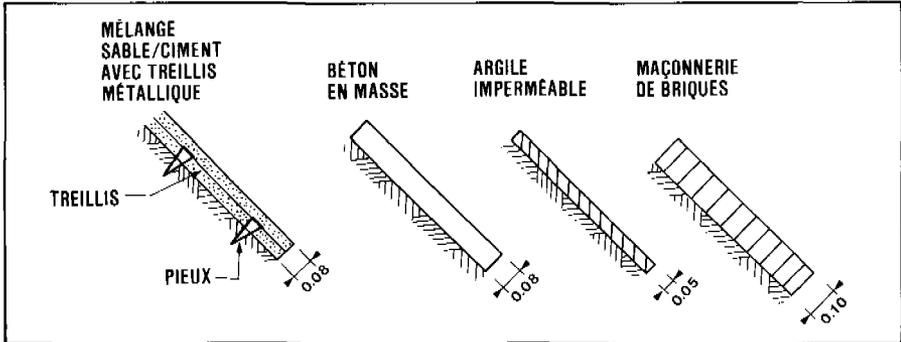


Fig. 5.8.
Différents revêtements pour filtres à parois en pente.

La pente des parois est évidemment fonction de la stabilité du sous-sol, mais une pente de 1:2 doit généralement convenir. Comme le filtre est réalisé de excavation dans le sous-sol, il ne se produira que de faibles tassements, même s'il existe dans le sol des couches de haute compressibilité. Voici quelques inconvénients possibles des filtres à parois obliques protégées:

1. La superficie nécessaire est plus importante que dans le cas d'ouvrages à parois verticales. (N.B. - Comme surface théorique pour des filtres à parois obliques, il y a lieu de prendre la surface nette du lit filtrant à une profondeur minimum de 0,6 m du lit). Cette considération ne doit pas nécessairement présenter de grosses difficultés pour des villages où l'on peut disposer de surfaces de terrains suffisantes.
2. Les tuyauteries et les dispositifs de contrôle des filtres sont moins accessibles.
3. On ne peut jamais garantir l'étanchéité de l'ouvrage. Si la nappe phréatique est à une certaine profondeur, ce point peut ne pas

avoir grande importance (sauf pour les pertes), mais en présence de nappes proches de la surface du sol, il y a risque de pollution de l'eau filtrée.

4. Si l'excavation pour le filtre est creusée dans le sol naturel, le niveau de l'eau filtrée, en fin de cycle de filtration, se trouve à plus de 1 mètre au-dessous du niveau du sol. Ceci implique qu'il peut être nécessaire de placer l'ouvrage de contrôle du filtre et/ou le réservoir d'eau traitée à une grande profondeur. (Le réservoir d'eau traitée doit bien entendu être construit avec parois verticales et être couvert).
5. Il peut se produire un salissement des parois obliques, dû au développement de roseaux et autres plantes.

Bien entendu, un filtre à parois obliques peut aussi être réalisé par travaux de terrassement au-dessus du niveau du sol. Ceci remédie dans une grande mesure aux inconvénients 3 et 4 ci-dessus, mais entraîne également des pressions plus élevées dans la couche supérieure du sol, ce qui peut provoquer des affaissements et des fissurations.

- Filtres à parois verticales.

La conception des filtres à parois verticales obéit à la pratique normale de calcul des structures.

Un paramètre très important, en matière de calcul structurel est la profondeur des fondations par rapport au niveau du sol. Voici des facteurs à ne pas perdre de vue:

1. La profondeur minimum des fondations peut être fixée à 0,3 m dans les régions où les températures ne sont jamais inférieures à 0°.
2. La distance minimum entre le haut du filtre et le niveau du sol doit être de 0,5 m, afin d'éviter l'accès de poussières,

d'animaux, ou même d'enfants qui jouent.

3. L'emplacement du filtre en profondeur présente des avantages de structure. La charge s'exerçant sur les parois diminue parce que la pression du sol extérieure contrebalance la pression intérieure (voir diagramme des pressions). A cet égard, une distance entre le haut du bassin du filtre et le niveau du sol d'environ 0,5 à 1,0 m peut être considérée comme optimale.

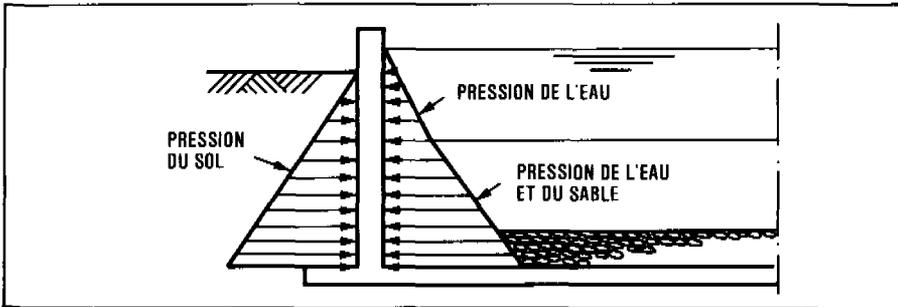


Fig. 5.9.

Diagramme de pression pour une paroi d'un bassin de filtre.

4. Une position en profondeur du lit filtrant est avantageuse en ce qui concerne la charge s'exerçant sur le sol. La charge qui s'exerce sur le sol, pour une position en profondeur, est plus faible, de sorte qu'il se produira moins de tassements et de fissurations.
5. Une nappe phréatique proche de la surface du sol nécessite soit une position élevée du filtre, soit la construction d'un bassin filtrant en béton armé. Pour empêcher la pollution de l'eau filtrée, il est essentiel, dans ce cas, d'assurer l'étanchéité de l'enveloppe du filtre. Le béton en masse et la maçonnerie demandent une protection supplémentaire et une conception très soignée pour assurer l'étanchéité, de sorte qu'il est préférable d'en éviter l'utilisation.
6. La présence d'une nappe phréatique proche du niveau du sol peut

également exiger des dispositions spéciales pour éviter que l'ouvrage monte sous la pression de l'eau. Toutefois, si l'on n'abaisse pas le lit filtrant de plus de 0,4 m, comme indiqué au Chapitre 3, il n'y a aucun danger de soulèvement de l'ouvrage. Il est néanmoins toujours important de pratiquer un contrôle sur cet ouvrage et sur le réservoir d'eau traitée, qui s'assèche de temps à autre. Il peut également être nécessaire de prendre des précautions spéciales contre le soulèvement (par exemple, abaissement de la nappe phréatique par pompage) au cours de la construction du filtre et en périodes de réparations, alors que le lit de sable est totalement enlevé.

7. Le niveau d'eau souhaité dans la station de traitement et la charge d'eau brute dont on dispose peuvent influencer la profondeur du filtre; en général, il est désirable d'appliquer un écoulement gravitaire dans toute la station de traitement (bassin de décantation + filtre lent à sable + réservoir d'eau traitée).

Dans le cas de parois du filtre en béton armé, il faut que le fond du filtre soit lui aussi en béton armé, et qu'un joint rigide entre le fond et la paroi (au moyen d'un prolongement de l'armature) permette la transmission des pressions latérales à la fondation.

Si les parois sont en béton en masse, en ciment armé, ou en maçonnerie, une fondation "en radeau" (voir Fig. 5.10) assure un tassement uniforme du bassin filtrant, évite les pertes d'eau par le joint entre la paroi et la fondation, et simplifie la réalisation. Le joint entre la paroi et le "radeau" peut, dans ce cas, être considéré comme une charnière par laquelle des pressions latérales limitées peuvent seules être transmises. Un ouvrage en béton en masse, en ciment armé ou en maçonnerie ne peut donc être mis en oeuvre que si les pressions internes et externes ne présentent pas une trop forte différence. La fondation du "radeau" peut être constituée de 0,20 m de béton en masse de composition 1:2:3 (voir aussi Annexe 5).

Une charge inégale provoquera dans ce cas l'apparition de fissures. Il est donc conseillé de réduire au minimum la longueur du "té" de la fondation, c'est-à-dire 0,10 - 0,20 m. Un renforcement minimum, par exemple de ϕ 8-200 (c'est-à-dire barres d'acier de 8 mm de diamètre placées à intervalles de 200 mm), dans les deux sens, et aussi bien à la partie supérieure qu'à la base du "radeau", convient parfaitement pour empêcher la fissuration. On peut augmenter la résistance du joint entre la fondation et la paroi du filtre en disposant des barres d'acier, par exemple de 16 mm, à de grands intervalles d'environ 500 mm (voir également Fig. 5.10).

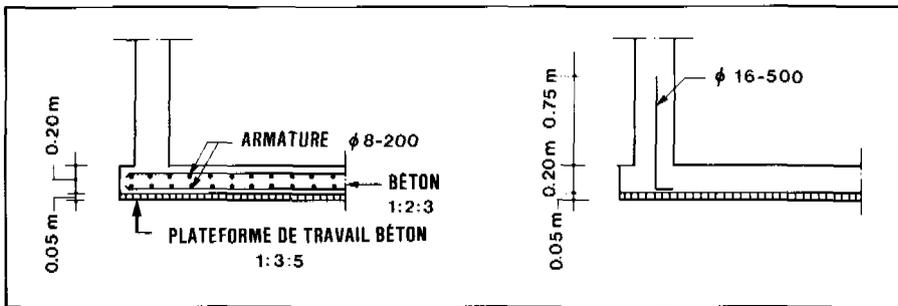


Fig. 5.10.
Fondation en 'radeau' pour parois verticales de filtres.

On peut recourir à des filtres circulaires en béton en masse ou en maçonnerie lorsque la profondeur de la fondation est relativement grande. La pression extérieure du sol qui en résulte est alors transmise par les forces de compression dans les parois du bassin filtrant. Si toutefois on choisit pour le bassin filtrant un emplacement élevé, la pression du sable et de l'eau, à l'intérieur du bassin, va entraîner l'apparition de forces de traction dans les parois du filtre. L'utilisation de béton en masse ou de maçonnerie n'est pas possible dans ce cas, mais pour des filtres de faibles et de moyennes dimensions, on peut faire appel à des filtres circulaires en ciment armé (pour tous détails sur la réalisation en ciment armé, voir Annexe 5) avec armature d'acier pour transmettre les forces de traction. Des filtres circulaires peuvent aussi être construits en béton armé, auquel cas la fondation peut être placée à faible ou à

grande profondeur.

Les filtres rectangulaires sont généralement réalisés en béton armé (sauf pour les petites installations, où ils peuvent être en béton en masse ou en maçonnerie). Ils peuvent être utilisés pour toutes dimensions et toutes profondeurs de fondation. L'épaisseur des parois de la cuve du filtre et l'importance de l'armature à utiliser sont fonctions des dimensions, du plan et de la profondeur de fondation de la cuve du filtre.

Pour terminer ce paragraphe, nous donnons au tableau 5.2 un résumé des constructions possibles du bassin filtrant et de leurs possibilités d'utilisation.

5.3. Structure de l'ouvrage d'entrée

Les fonctions de l'ouvrage d'entrée peuvent être les suivantes.

1. Assurer une répartition uniforme de l'eau brute sur toute la surface du lit filtrant. Ce résultat est généralement obtenu en appliquant une vitesse d'entrée faible de l'eau, disons de l'ordre de 0,1 m/s.
2. Diminuer l'énergie de l'eau arrivante, de façon à éviter les turbulences dans la couche d'eau surnageante et les détériorations de la membrane biologique. Cette fonction exige elle aussi une faible vitesse d'entrée. En outre, l'ouvrage d'entrée peut être placé juste au-dessus du lit filtrant, afin d'éviter le déversement de jets d'eau sur le lit. On peut également empêcher la désagrégation de la membrane biologique en disposant des plaques de béton ou de roche naturelle sur le lit filtrant, au point d'entrée de l'eau brute. La largeur totale minimum de l'ouvrage d'entrée peut être déterminée en divisant le débit théorique (en m^3/h) par 20. De cette façon, la hauteur de l'eau de trop-plein sera de quelques centimètres seulement, de sorte qu'on obtiendra un écoulement calme.

Tableau 5.2.

Constructions diverses de bassins filtrants et leurs possibilités d'emploi en filtration lente sur sable

1. Filtre à parois obliques protégées:

Utilisable pour filtres carrés de dimensions faibles à moyennes.

Dimensions 2 - 20 m de longueur et largeur

Épaisseur des parois 0,05 - 0,10 m

Intéressant lorsqu'on dispose de moyens financiers très réduits.

2. Filtre en béton en masse ou en maçonnerie:

Utilisable pour filtres circulaires à fondation profonde.

Dimensions 1 - 10 m de diamètre

Épaisseur de paroi 0,2 - 0,3 m

Application limitée seulement pour filtres non circulaires (petits filtres, nappe phréatique profonde, conception structurelle soignée).

3. Filtre en ciment armé:

Utilisable pour petits filtres circulaires avec fondation haute ou basse (principe de la pression universelle ou de la boucle de traction).

Dimensions 1 - 5 m de diamètre

Épaisseur de paroi 0,06 - 0,12 m

Il va se produire une certaine déformation de la paroi du filtre et la construction n'est pas parfaitement étanche, mais ceci peut être admissible.

4. Filtre en béton armé:

Applicable pour toutes dimensions, tous plans et toutes conditions topographiques.

Les filtres circulaires ont une épaisseur de paroi un peu plus faible que les filtres rectangulaires (c'est-à-dire 0,15 - 0,20 m au lieu de 0,25 m).

Intéressant lorsque les moyens financiers et le personnel expérimenté sont plus faciles à se procurer.

3. Evacuer l'eau surnageante lorsqu'il est nécessaire de nettoyer le filtre.

Ce peut être là une autre raison pour placer l'ouvrage d'entrée juste au-dessus du lit filtrant. Toutefois, après que le lit

filtrant a été raclé plusieurs fois, son niveau est réduit de 0,4 m. Cela veut dire que l'eau surnageante ne peut pas être évacuée totalement par l'ouvrage d'entrée, à moins qu'on ne choisisse une solution au moyen d'aiguilles de déversoir amovibles (par exemple dalles de béton ou planches de bois de 0,05 x 0,10 m). Autrement, la seule possibilité pour éliminer la couche d'eau de 40 cm au-dessus du lit, consiste à ouvrir la vanne de vidange. Cependant, comme la résistance du lit est alors très élevée, il faut s'attendre à ce que la durée de drainage soit très longue.

4. Fournir un moyen de régler la hauteur de l'eau surnageante. Ceci peut se faire soit à l'aide d'une vanne papillon commandée par flotteur, soit au moyen d'un robinet-vanne à commande manuelle, soit encore par drainage par l'intermédiaire d'un déversoir de trop-plein.
5. Fournir un moyen d'arrêter l'écoulement de l'eau brute. Ceci se fait généralement au moyen d'un robinet-vanne à commande manuelle.

La Fig. 5.11 illustre les schémas possibles pour l'ouvrage d'entrée.

5.4. Structure de l'ouvrage de sortie

Les fonctions de l'ouvrage de sortie peuvent être les suivantes.

1. Assurer l'exclusion de dépressions dans le lit filtrant. A cet effet, on recourt habituellement à un simple déversoir de trop-plein sur la conduite de sortie, la crête de ce déversoir se trouvant un peu au-dessus du haut du lit de sable. Voici d'autres possibilités: tuyau vertical d'évacuation ou tuyauterie de transport dont l'entrée est placée juste au-dessus du niveau supérieur du lit de sable.

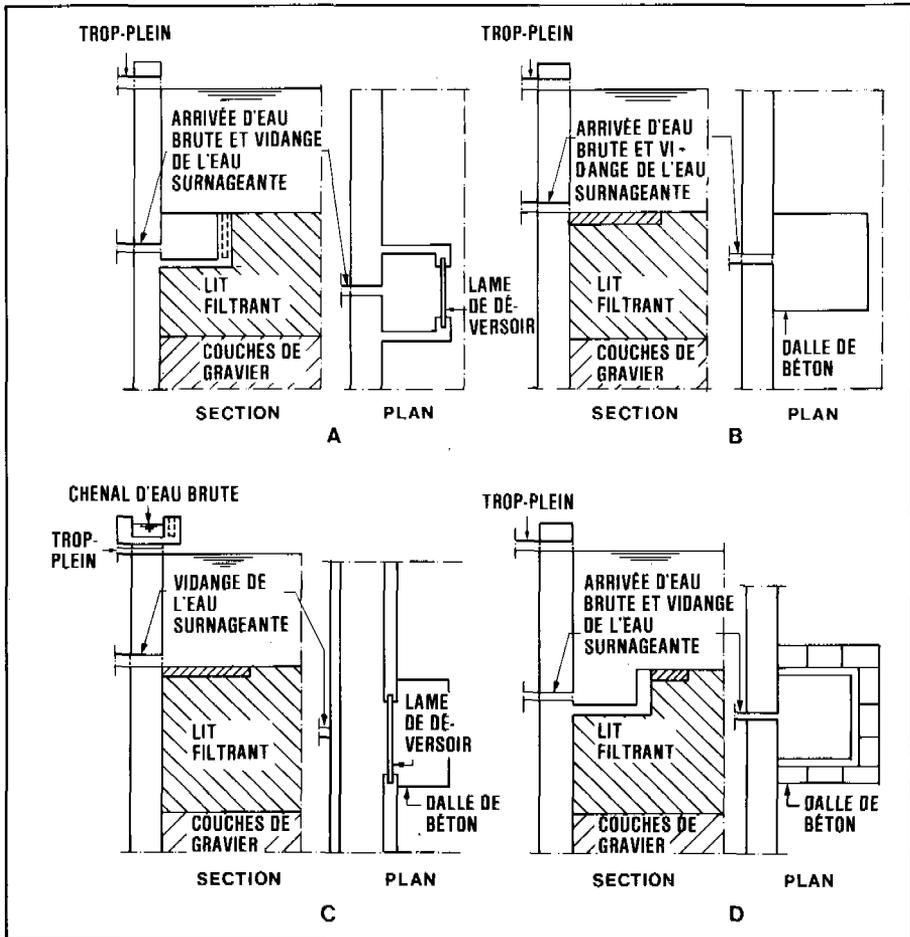


Fig. 5.11.
Structures de l'ouvrage d'entrée.

2. Fournir un moyen de mesurer le débit à travers le lit filtrant. Le déversoir mentionné ci-dessus peut également être utilisé à cette fin, à l'aide d'un flotteur calibré (pour améliorer la précision de cette mesure, on peut faire appel à un déversoir triangulaire⁸). Le débit au travers du filtre peut aussi être réglé à une valeur prédéterminée à l'aide de déversoirs flottants.

3. Fournir un moyen de régler la vitesse de filtration. La solution la plus simple pour cela consiste en un réglage manuel de la vanne-papillon.

Dans le cas où l'on utilise un déversoir flottant, qui remplit également la fonction décrite à l'alinéa 2 ci-dessus, le niveau minimum acceptable de son entrée doit être adapté en accord avec le niveau supérieur du lit de sable. Si l'un des filtres est en cours de nettoyage, il faut augmenter la vitesse filtration et, par suite, la capacité des déversoirs flottants des autres filtres (en augmentant la profondeur d'immersion de l'entrée du déversoir flottant).

4. Fournir des moyens pour arrêter et vidanger le filtre. Les systèmes utilisant des tuyaux verticaux d'évacuation devront donc être équipés de tuyaux de drainage séparés. On pourra utiliser un robinet-vanne pour mettre le filtre à l'arrêt.
5. Fournir un moyen de réalimenter la filtre en eau propre par le réseau de drains après nettoyage. Bien que cela ne soit pas absolument nécessaire, il est extrêmement avantageux d'aérer l'eau filtrée au moyen d'un déversoir de trop-plein. Il faut pour cela que l'ouvrage de sortie soit bien ventilé. Un regard est souhaitable pour faciliter le contrôle des déversoirs et des vannes. La relation entre le débit et la hauteur d'eau dans un déversoir triangulaire est expliquée plus en détail à l'Annexe 6.

La Fig. 5.12 donne quelques schémas désirables pour l'ouvrage de sortie des filtres.

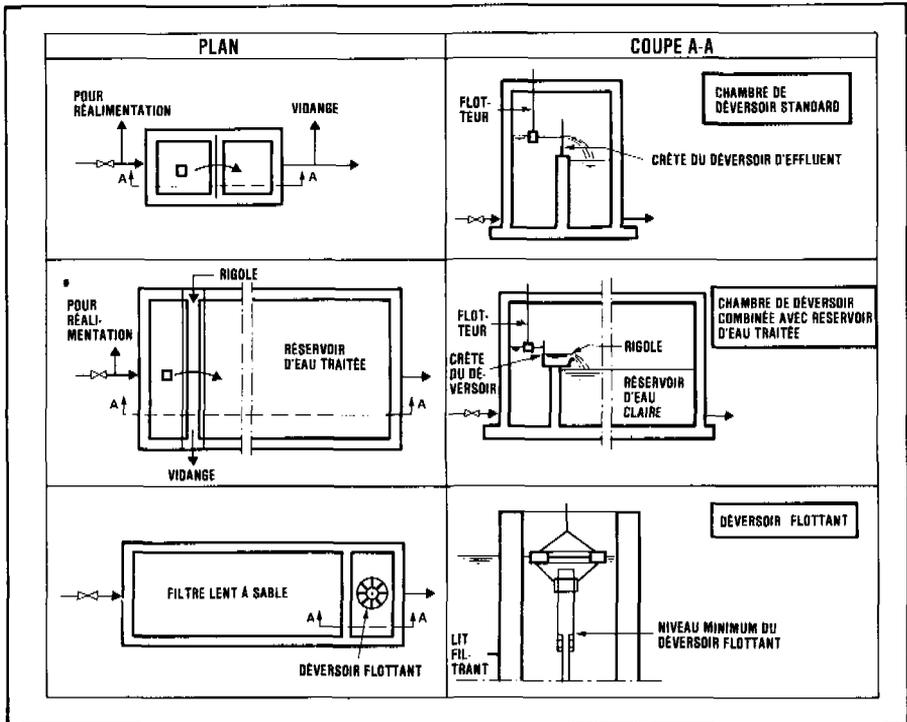


Fig. 5.12.
Structures de l'ouvrage de sortie

5.5. Réseau de drains

Le réseau de drains remplit une double fonction:

1. Supporter le matériau filtrant et empêcher celui-ci d'être entraîné dans le réseau de drains.
2. Assurer un taux de filtration uniforme sur toute la surface du filtre.

Afin d'éviter les pertes de matériau filtrant, on dispose un certain nombre de couches de gravier de granulométrie croissante entre le matériau filtrant et le réseau proprement dit de drains. La mise en oeuvre de trois couches de gravier, de granulométries allant de 1 - 1.4, 4-7, 16-23 mm, s'avère généralement pratique. Ces couches doivent avoir une épaisseur d'environ 100-150 mm chacune.

En ce qui concerne le réseau réel de drains (voir Fig. 5.13), on peut dire qu'en général, on peut se fier, sans autres calculs, aux caractéristiques hydrauliques du réseau utilisant des dalles de béton préfabriquées, des briques et du béton poreux. Pour de tels réseaux, la surface dans laquelle l'eau s'écoule librement est relativement importante. Les réseaux employant des tubes perforés et du gravier ou de la pierre concassée peuvent être dimensionnés sur la base des critères suivants:

Tuyaux perforés:	
Vitesse maximum dans le collecteur	0,3 m/s
Vitesse maximum dans les conduites latérales	0,3 m/s
Ecartement des conduites latérales	1,5 m (1 - 2 m)
Diamètre des orifices dans les conduites latérales	3 mm (2 - 4 mm)
Ecartement des orifices dans les conduites latérales	0,15 m (0,1-0,3 m)
Gravier ou pierre concassée:	
Hauteur de couche	0,15 m
Granulométrie du gravier	25 - 50 mm
Surface maximum du lit filtrant	25 m ²

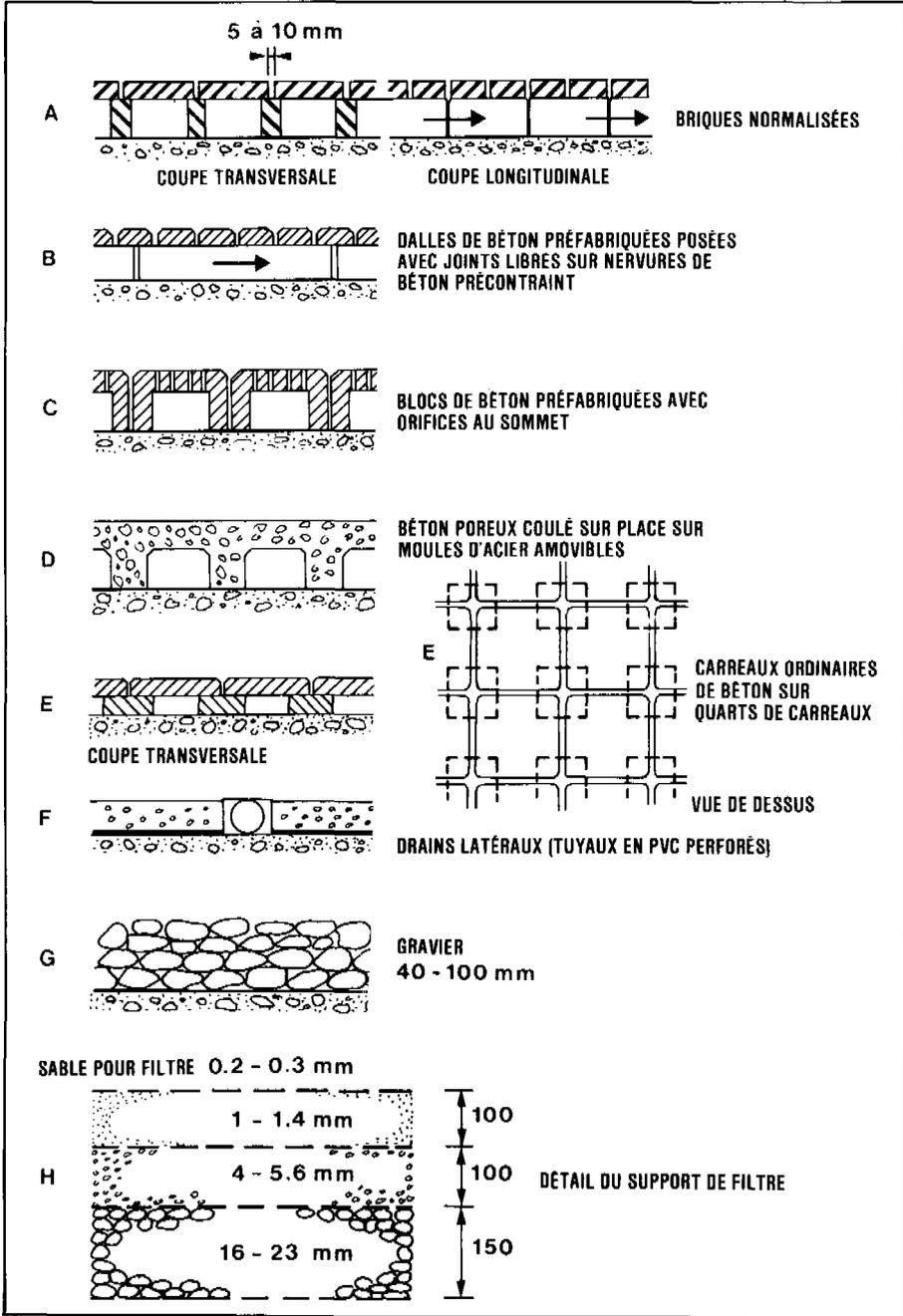


Fig. 5.13.
 Réseaux de drains.

5.6. Dispositifs de contrôle des filtres

La Fig. 5.14 donne le schéma d'une installation typique de filtration lente sur sable.

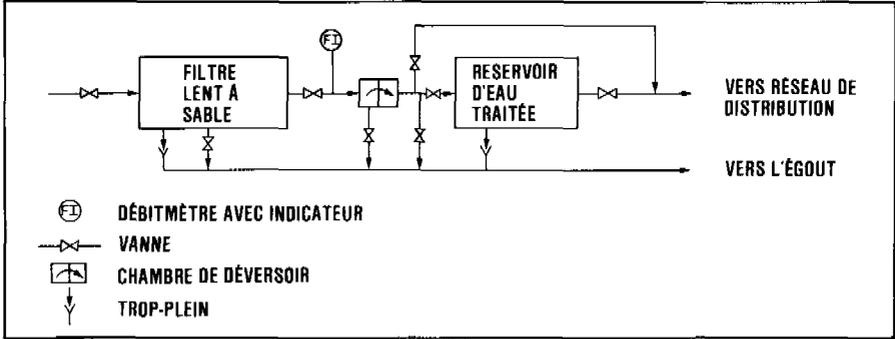


Fig. 5.14.

Schéma d'une installation typique de filtration lente sur sable.

Le système de fermeture le plus simple, dans une conduite, est un robinet-vanne (Fig. 5.15a), tandis qu'en canal découvert, on peut recourir à des aiguilles amovibles de déversoir (Fig. 5.15b).

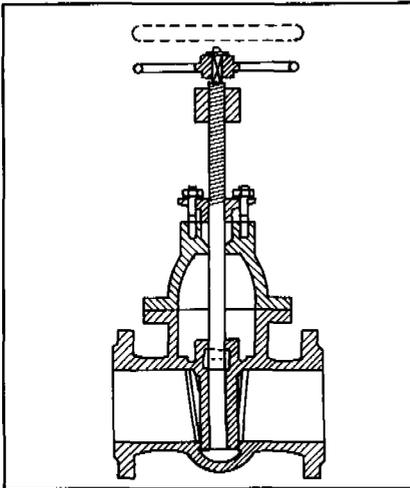


Fig. 5.15a.
Robinet-vanne.

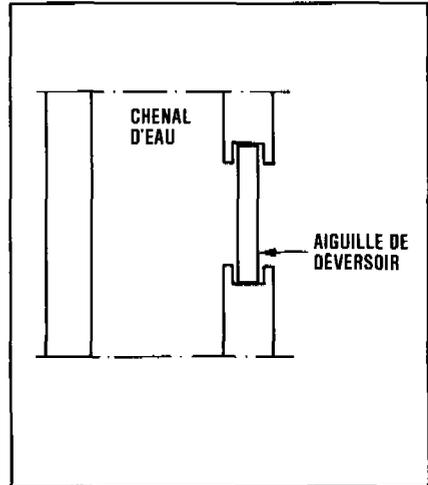


Fig. 5.15b.
Aiguille de déversoir.

Les dispositifs de contrôle du débit, tant à l'ouvrage d'entrée qu'à la sortie, ont déjà été étudiés aux Chapitres 5.3 et 5.4 respectivement. Les Fig. 5.16 représentent un dispositif convenable de contrôle du débit dans une tuyauterie, dispositif constitué par une vanne-papillon.

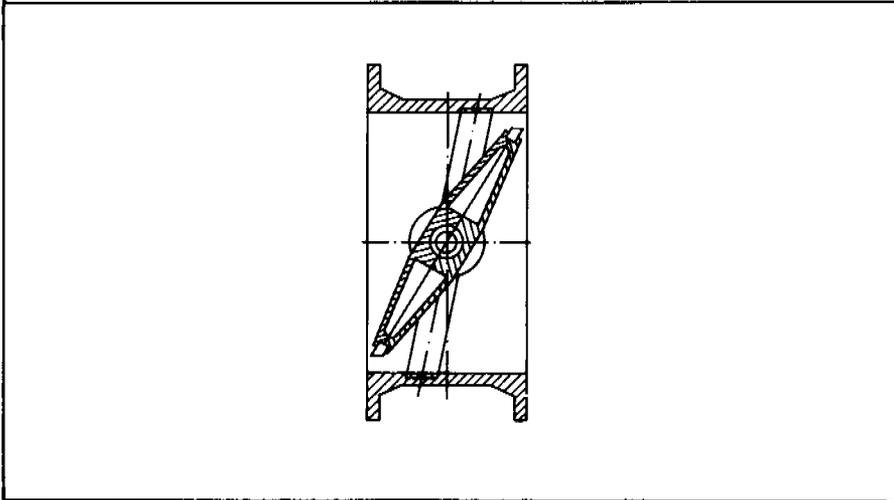


Fig. 5.16
Vanne-papillon.

Bien que l'on puisse utiliser également un robinet-vanne pour régler le débit dans une tuyauterie, une vanne-papillon permet un contrôle plus commode et plus précis. La raison en est que les caractéristiques d'écoulement d'un robinet-vanne sont telles que le débit passant par la vanne est relativement indépendant de la position de l'obturateur. C'est seulement lorsque la vanne est fermée à plus de 90 % que le débit commence à décroître de façon notable. Cela signifie qu'il est assez difficile d'effectuer un ajustement précis du débit.

La vanne-papillon, par contre, se caractérise par une relation plus régulière entre le pourcentage d'ouverture et le taux d'écoulement.

Le système de contrôle des filtres détermine le débit et la pression d'eau dans l'installation. Un paramètre important à cet égard est la courbe hydraulique⁸, qui donne la charge de l'eau lors de la traversée de la station. La Fig. 5.17 représente la courbe hydraulique pour une installation typique. La perte de charge à travers toute l'installation est maintenue à une valeur constante, au cours des diverses conditions opératoires, par réglage des vannes de contrôle.

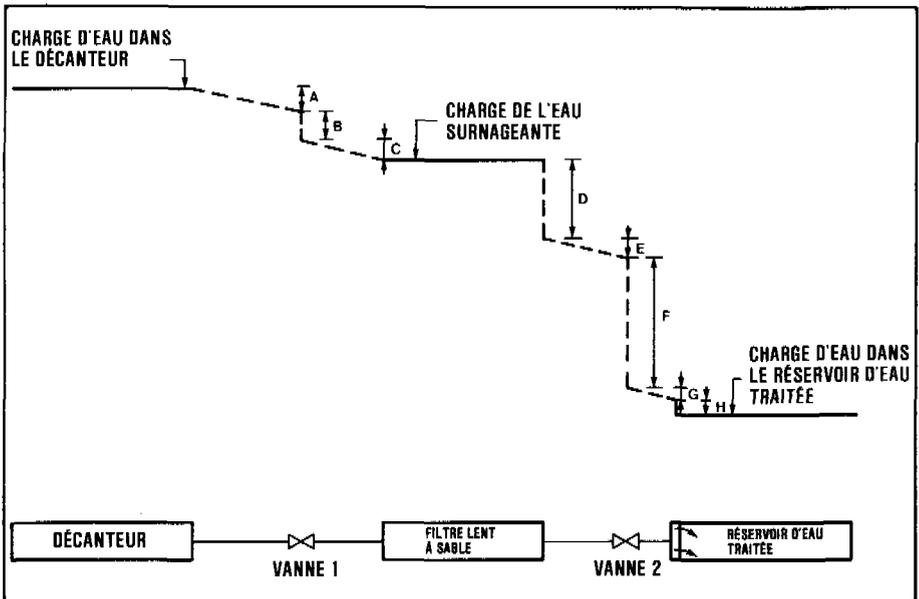


Fig. 5.17.
Schéma hydraulique dans une station de filtration lente sur sable (écoulement gravitaire).

Légende

- A = perte de charge entre le décanteur et la vanne 1
- B = perte de charge à travers la vanne 1
- C = perte de charge dans la tuyauterie entre la vanne 1 et le filtre lent à sable
- D = perte de charge au travers du filtre lent à sable (augmente au cours du cycle de filtration)
- E = perte de charge dans la tuyauterie entre le filtre lent à sable et la vanne 2

F = perte de charge au travers de la vanne 2 de réglage du filtre (à diminuer au cours du cycle de filtration pour maintenir $D + F$ constant)

G = perte de charge dans la tuyauterie entre la vanne 2 et le réservoir d'eau traitée

H = perte de charge par le déversoir d'effluent

5.7. Unités de prétraitement et post-traitement

On trouvera au Chapitre 4.3 et aux Annexes 2 et 3 des critères de calcul des bassins de prédécantation et de systèmes de chloration de sécurité. Les considérations relatives à la disposition, les dimensions unitaires, la construction des bassins, etc., décrites pour les filtres lents à sable, sont essentiellement les mêmes pour la conception de bassins de décantation. La charge d'eau dans le décanteur doit bien entendu être un peu plus élevée (0,10 m par exemple) que dans le filtre lent à sable (voir Fig. 5.17), de sorte que le niveau supérieur du bassin de décantation doit se situer proportionnellement plus haut. De plus, il est nécessaire de prendre des dispositions pour l'élimination des boues (fond en pente, dispositif d'extraction des boues ou enlèvement des boues à la main), ainsi que pour l'entrée et la sortie de l'eau.

Pour ce qui est de l'installation d'appareils doseurs pour la chloration (voir Annexe 3), il peut être indiqué, pour des stations assez importantes, de construire un petit bâtiment de chloration au sommet du réservoir d'eau traitée. Le chlorure de chaux et l'hypochlorite pour les essais doivent tous deux être protégés contre la lumière solaire, l'humidité et les hautes températures, de sorte qu'il est préférable de les stocker dans une salle fermée, bien ventilée.

La solution de chlore peut être confectionnée dans une salle séparée, en ajoutant à un volume d'eau une quantité déterminée de chlorure de chaux ou d'hypochlorite. La solution de chlore s'écoule ensuite dans le réservoir de dosage, d'où un appareil doseur et une

tuyauterie la conduisent dans l'eau traitée qui circule au-dessous. Un déversoir est un point convenable pour le mélange de la solution de chlore avec l'eau traitée.

Le bâtiment de chloration, qui peut comporter une pièce pour l'opérateur, peut être construit en n'importe quel matériau qu'on peut se procurer localement, tant que le chlore conservé ne peut pas être affecté par l'humidité. Les conséquences structurelles du bâtiment de chloration, pour le réservoir d'eau traitée situé dessous, se limitent à une charge un peu plus élevée pour la couverture du réservoir et le sous-sol.

5.8. Stockage de l'eau traitée

La conception structurelle du réservoir d'eau traitée diffère de celle des filtres lents à sable de deux manières. Tout d'abord, il faut que le réservoir d'eau traitée soit couvert, ce qui permet la transmission des pressions latérales à la couverture. Si le joint entre la couverture et la paroi est rendu plus rigide au moyen de barres d'armature prolongées, la résistance de l'ouvrage augmente, et l'épaisseur des parois peut être diminuée.

La seconde différence entre la conception de filtres lents à sable et celle d'un réservoir d'eau traitée est que la charge descendante, qui s'exerce sur le fond du réservoir d'eau traitée, peut, contrairement au cas d'un filtre lent à sable, être ramenée à zéro dans certaines périodes. Cela veut dire qu'il faudra dimensionner l'ouvrage en vue de fortes pressions extérieures, et qu'il faut envisager également la possibilité d'un soulèvement de l'ouvrage sous l'action de la pression de l'eau.

Compte tenu de ces deux facteurs, on peut dire que les dimensions des parois de filtres et de réservoirs peuvent en général être du même ordre de grandeur. S'il existe un risque de soulèvement de l'ouvrage, il faut alors que les parois du réservoir soient un peu plus massives que celles du filtre, en particulier pour les réservoirs

voirs de grande capacité. Pour les petites installations, la couverture du réservoir d'eau traitée peut consister en un simple ouvrage en bois, mais pour réservoirs assez importants, il est généralement conseillé de prévoir une couverture en béton d'environ 0,25 m d'épaisseur avec une armature minimale de \varnothing 8 - 150 (dans les deux sens, et au haut et au bas de la dalle).

La fondation du réservoir d'eau traitée devra nécessairement être profonde, parce que la perte de charge au travers du filtre s'élève à 1 m (voir Chapitre 5.6) et qu'il y a lieu de permettre une certaine fluctuation du niveau dans le réservoir d'eau traitée, afin d'équilibrer la production et les besoins en eau. Si l'on admet comme variation nette du niveau le chiffre de 1,5 m, la profondeur de fondation pour le réservoir d'eau traitée devra être la même que dans le cas du filtre lent à sable.

Le réservoir d'eau traitée devra être muni de tuyauteries de ventilation et d'un regard pour l'inspection. Si le réservoir d'eau traitée joue en même temps le rôle de chambre de contact avec le chlore, il faut alors que la tuyauterie de sortie d'eau traitée soit placée, au-dessus du niveau du fond, à une hauteur telle que l'on obtienne un temps de séjour minimum de 30 minutes.

Le volume net du réservoir d'eau traitée dépend de plusieurs facteurs. Ainsi qu'il a été dit au Chapitre 4.3, un stockage d'eau traitée est nécessaire pour équilibrer la production d'eau et les besoins en eau. Par ailleurs, il n'est pas nécessaire de construire le réservoir d'eau traitée à la station de traitement même; la construction en un endroit quelconque du village présente l'avantage que la capacité de production de la conduite de transport entre la station de traitement et le village est mieux utilisée.

Il est également possible de réaliser plus d'un réservoir d'eau traitée, le volume net total étant au moins égal au volume de stockage nécessaire calculé. L'emploi de 2 ou 3 réservoirs peut être avantageux au point de vue de la fiabilité du réseau d'alimentation

en eau (si l'un des réservoirs est hors de service, l' (les) autre(s) réservoir(s), peut (peuvent) toujours fournir de l'eau à la population, et au point de vue du coût du stockage d'eau traitée, car la construction de vastes réservoirs d'eau traitée est relativement difficile et onéreuse.

5.9. Tuyauteries et dispositifs de pompage

En matière de technique de l'alimentation en eau, il a toujours été de bonne pratique de prévoir les principales parties hydrauliques d'une station de traitement pour une capacité d'au moins 1,5 fois la demande en eau théorique. Si par la suite une extension de la station de traitement s'avérait nécessaire, il serait fort peu commode de constater qu'il est impossible de réaliser les interconnexions sans remplacer des tuyaux, vannes ou autres accessoires. Des vitesses théoriques descendant jusqu'à 0,3 m/s dans les conduites principales sont à recommander.

Les robinets-vannes et les vannes de contrôle des filtres devraient être disposés de manière à permettre le raccordement facile d'extension ultérieures. Les vannes, flotteurs de commande et autres éléments mécaniques vulnérables devraient de préférence être d'accès facile pour l'inspection et la réparation. En tout état de cause, l'emploi d'une galerie des conduites, ou un ouvrage de contrôle des filtres, devrait être envisagé sérieusement. Les conduites d'amenée d'eau et les conduites de vidange devraient être rigoureusement séparées des conduites d'eau traitée.

En supposant que l'installation de traitement soit basée sur un écoulement gravitaire, il faut déterminer les pertes de charge dans les tuyauteries et les unités de traitement (voir également Chapitre 5.6) pour l'étude des pompes d'eau brute. Pour la perte de charge dans les conduites, voir Fig. 5.18.

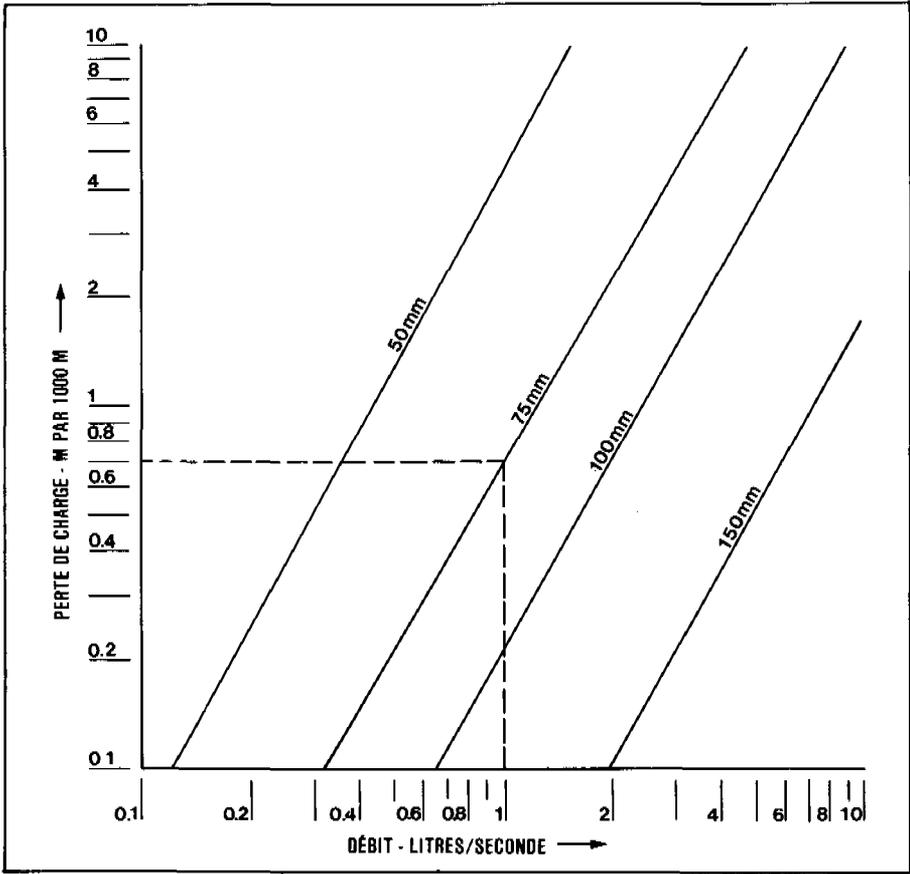


Fig. 5.18.
Pertes de charge dues au frottement dans des tuyaux en PVC.

Par exemple, on peut voir qu'un débit de 1 litre par seconde ($3,6 \text{ m}^3/\text{heure}$) occasionnera une perte de charge de 0,7 m hauteur d'eau par 1000 m de tuyauterie, pour une canalisation de 75 mm de diamètre.

La perte de charge dans les filtres lents à sable s'élève à 1 m de hauteur d'eau, et la perte de charge dans les prédécanteurs sera de l'ordre de 0,05 - 0,15 m de hauteur d'eau. Il est donc possible de spécifier le débit théorique et la charge théorique pour les pompes d'eau brute. D'autres conditions importantes pour les pompes d'eau brute, comme la hauteur d'aspiration et la hauteur de refoulement

ment, dépendent entièrement des données locales.

Dans les stations de traitement d'eau, en emploie d'ordinaire des pompes centrifuges. La puissance requise pour le moteur d'une pompe, en kW, peut être estimée à l'aide de la figure ci-dessous.

La source d'énergie pour le moteur, c'est-à-dire gas-oil, électricité, ou même énergie hydraulique ou éolienne, va dépendre des possibilités locales.

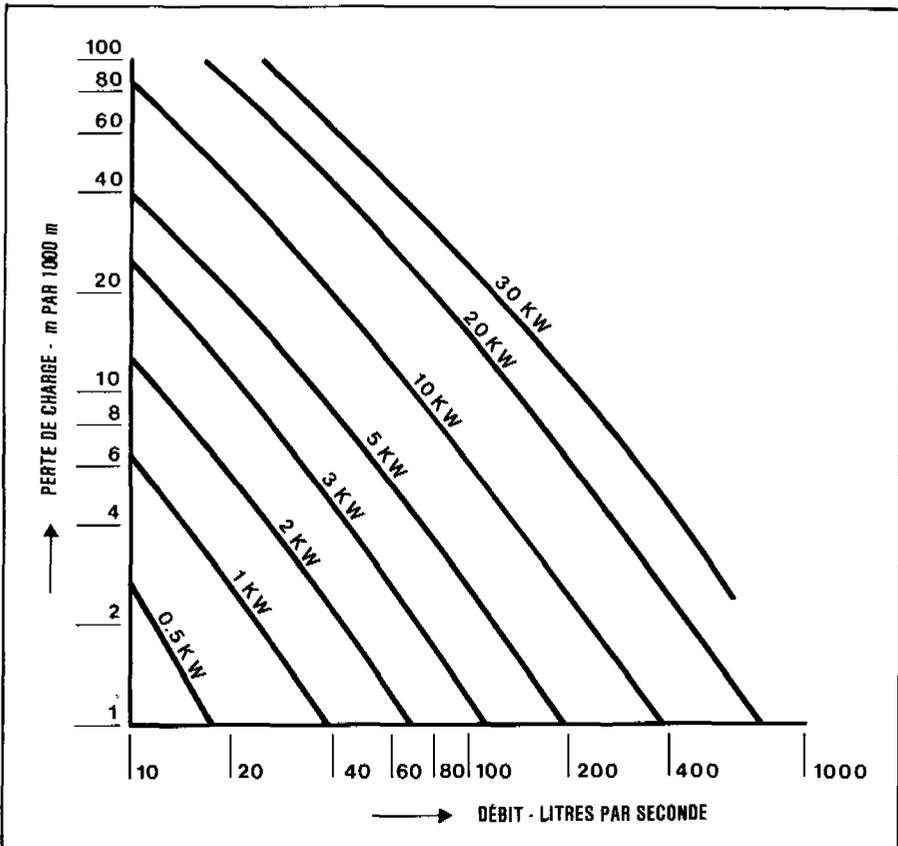


Fig. 5.19.
Besoins en énergie pour une pompe d'eau brute (en kW).



Réseau de drains et couches de gravier de support, Service des Eaux d'Amsterdam (Pays-Bas).

Vertical line on the left side of the page.

6. Conceptions Typiques pour les filtres lents a sable

Afin d'illustrer l'approche décrite de la construction des installations de filtration lente sur sable, nous avons préparé 4 conceptions typiques (voir Fig. 6.1 - 6.4). Il ne faut jamais oublier que ces conceptions s'appliquent à des conditions spécifiques, et peuvent ne pas convenir dans des conditions différentes. C'est pourquoi les auteurs se réfèrent une fois encore à ce qui a été dit au Chapitre 1 à propos de l'utilisation des renseignements fournis dans ce manuel. Aux paragraphes 6.1 à 6.4, nous décrirons les quatre conceptions typiques et, dans les paragraphes suivants, nous donnerons quelques indications concernant des dispositions adéquates de stations de traitement englobant ces quatre conceptions typiques, la capacité de production de ces conceptions, les quantités de matériaux de construction nécessaires, et le coût de la filtration lente sur sable.

Il y a lieu de signaler ici que dans les conceptions typiques il n'a rien été prévu pour un prétraitement de l'eau brute. Les conceptions ne peuvent donc s'appliquer qu'à des eaux superficielles relativement pures (turbidité de préférence inférieure à 10 NTU, mais certainement au-dessous de 50 NTU). Si la turbidité de l'eau brute atteint des valeurs plus élevées, il y a lieu d'étudier un système de prétraitement (voir paragraphe 3.9 et Annexe 2).

6.1. Filtre à paroi oblique protégée

Il a été dit au Chapitre 5 que les filtres à parois obliques sont applicables en particulier pour des villages à faibles ressources. Aussi vrai que cela puisse être, il ne faut cependant pas en déduire que leur effet épurateur est nécessairement inférieur aux autres conceptions du principe du filtre lent à sable.

S'il est étudié et réalisé avec soin, un filtre à parois obliques peut se révéler comme un grand pas en avant pour les conditions d'hygiène et de santé publique des villages. La conception N° I

(Fig. 6.1) est établie sous la forme d'un filtre à parois obliques protégées.

On peut calculer la production horaire à partir de la surface nette du lit filtrant (c'est-à-dire de la surface qui reste après qu'on a râclé les 40 cm supérieurs du lit; dans la conception 8,4 x 8,4 mètres) et de la vitesse de filtration (0,1 m/h). Pour les deux filtres ensemble, on arrive ainsi à $2 \times 8,4 \times 8,4 \times 0,1 = 14,1 \text{ m}^3/\text{h}$. Si l'on fait choix d'une durée de fonctionnement de 8 heures, avec filtration à vitesse décroissante pendant la nuit (16 heures), la production journalière est alors de $8 \times 14,1 + 141 \times 0,7 = 211,7 \text{ m}^3/\text{j}$ (voir Chapitre 4). Pour une demande d'eau domestique journalière de 40 l/hab./jour, cette installation peut alimenter environ 5300 personnes.

Les parois des filtres sont protégés avec un revêtement de 0,08 m en béton en masse. Quand une bonne exécution de la construction en béton est assurée (voir les instructions dans chapitre 7.4 et annex 5), l'étanchéité des parois et du fond sera raisonnable. Cependant l'ouvrage n'est pas parfaitement étanche et c'est pour cela que cette conception peut être seulement appliqué dans des situations où la nappe phréatique est au-dessous du fond du filtre, et en tout cas au-dessous de la face supérieure du lit filtrant. Au lieu de béton en masse on peut utiliser d'autre revêtements (voir fig. 5.8).

On s'est attaché à la simplicité dans la conception des tuyauteries d'eau et des dispositifs de contrôle des filtres. L'eau brute arrive aux filtres par un canal découvert en béton en masse. L'écoulement vers les filtres peut être interrompu au moyen de simples aiguilles amovibles de déversoir, tandis que le niveau d'eau dans le filtre est contrôlé par le tuyau de trop-plein.

L'eau sortant des filtres s'écoule par des tuyaux en PVC vers le réservoir d'eau traitée, qui a une capacité de stockage d'environ $1/4 \times \pi \times 6^2 \times 1,5 \text{ m}^3 = 43 \text{ m}^3$ (20 % de la production journalière). Cette capacité est plutôt faible, étant donné que l'auteur de projet a prévu un autre réservoir de stockage dans la zone desservie.

Le réservoir d'eau traitée est réalisé en maçonnerie, avec une fondation en "radeau" en béton en masse.

Pour empêcher la pollution de l'eau traitée, il a été prévu pour le réservoir une couverture en bois dur.

La régulation des filtres se fait par ajustement manuel de la vanne-papillon de la conduite de sortie, après inspection des flotteurs étalonnés dans le réservoir d'eau traitée. En alternative pour la chambre de déversoir décrite au paragraphe 3.2, cette structure typique comporte une chambre de déversoir formant partie intégrante du réservoir d'eau traitée. La seconde section de la chambre de déversoir normale se ramène à une simple rigole au haut du déversoir. Pendant la période de "rématuration" d'un filtre, l'eau filtrée qui s'écoule dans la rigole est évacuée directement, tandis qu'en marche normale, on ferme la vanne de vidange de cette rigole et l'eau s'écoule, par dessus la crête du chenal, dans le réservoir d'eau traitée.

Il a été prévu des drains pour l'eau surnageante, des tuyauteries allant des filtres à l'égout, et un by-pass du réservoir d'eau traitée (afin d'avoir la possibilité d'inspecter et de réparer le réservoir d'eau traitée).

A titre d'exemple de la manoeuvre des diverses vannes, nous donnons au paragraphe 6.3 un schéma pour la mise en position des vannes en marche normale et pendant la recharge. Ce schéma est valable pour la conception N^o III.

6.2. Filtre circulaire en ciment armé

Les filtres circulaires en ciment armé conviennent fort bien pour de petits villages. On peut les construire soit au-dessus, soit au-dessous de la surface du sol, selon le niveau de la nappe phréatique. Le diamètre maximum des filtres en ciment armé est limité à environ 5 mètres pour des raisons de déformation et de charge non universelle.

Dans la conception N° II, on a fait appel à des filtres circulaires en ciment armé placés au-dessus de la surface du sol, de sorte qu'ils sont soumis à des forces de traction. Le calcul donne pour la capacité de production horaire des deux filtres ensemble: $1/4 \times \pi \times 4,5^2 \times 0,1 \times 2 \text{ m}^3/\text{h} = 3,2 \text{ m}^3/\text{h}$. Avec un poste de travail de 8 heures et, pendant la nuit (16 heures), une filtration à vitesse décroissante, la production totale journalière se monte à $48 \text{ m}^3/\text{j}$. Si la demande journalière en eau est fixée à 40 l/hab/j., cette production va alimenter une population de 1200 personnes. Le réservoir d'eau traitée a un volume de stockage d'environ $1/4 \times \pi \times 4^2 \times 1,5 \text{ m}^3 = 19 \text{ m}^3$ (39 % de la production journalière).

L'eau brute arrive par une tuyauterie en PVC, dans laquelle est monté un robinet-vanne permettant d'arrêter les filtres. Les conduites de sortie et les dispositifs de contrôle des filtres sont réalisés conformément à la description du paragraphe 3.2.

Pour de plus amples détails sur la technique de construction en ciment armé, le lecteur peut se reporter à l'Annexe 5.

6.3. Filtre circulaire en maçonnerie

L'emploi de maçonnerie, pour la construction de filtres lents à sable, convient tout particulièrement lorsqu'il est prévu des filtres circulaires au-dessous du niveau du sol. Comme matériaux de construction, on peut utiliser des pierres naturelles, des moellons, des blocs de béton ou des briques. Ces filtres sont soumis uniquement à des forces de pression. Il est préférable que la nappe phréatique se trouve assez bas.

La conception N° III a été établie pour le même village que dans le cas des filtres en ciment armé, de sorte que la surface nette des lits filtrants et le volume de stockage sont les mêmes que ci-dessus. Les tuyauteries et les dispositifs de contrôle des filtres sont similaires à ceux de la conception N° I.

Lorsqu'on nettoie un filtre, il faut doubler la vitesse de filtration de l'autre filtre en ouvrant la vanne de régulation des filtres (vanne N° 1 ou 2 à la Fig. 6.3) lentement, jusqu'à ce que le débitmètre indique un écoulement double (3,2 m³/h). Après l'opération de nettoyage, le filtre décrassé est rechargé avec de l'eau filtrée provenant de l'autre filtre.

Par exemple, si le filtre 1 demande à être rechargé, on fait couler une partie de l'eau filtrée du filtre 2 par les vannes N° 3 et 4 (qui normalement sont fermées) et la vanne N° 1 (qui doit être entièrement ouverte à cette fin). Si le niveau de l'eau dans le filtre 1 atteint environ 0,1 - 0,2 m au-dessus du haut du lit filtrant, on ferme les vannes N° 3 et 4, et on ouvre à nouveau l'arrivée d'eau brute au filtre 1. Lorsque l'eau surnageante atteint son niveau normal, on peut démarrer la période de "rematuration" (voir paragraphe 3.7). Pendant cette période, l'eau sortant du filtre 1 peut être vidangée en ouvrant la vanne N° 7.

A titre d'illustration supplémentaire de la manoeuvre des vannes, nous donnons au tableau 6.1 un schéma de positionnement des diverses vannes en marche normale et lors de la recharge (voir également Fig. 6.3).

*Tableau 6.1.
Positionnement des vannes pour la conception No III*

Vanne N°	Marche normale Filtres 1 et 2	Recharge Filtres 1 et 2	Raclage Filtre 1
1	ouverte	ouverte	fermée
2	ouverte	ouverte	ouverte
3	fermée	ouverte	fermée
4	fermée	ouverte	fermée
5	fermée	fermée	fermée
6	fermée	fermée	fermée
7	fermée	fermée	fermée
8	fermée	fermée	fermée
9	fermée	fermée	fermée
10	ouverte	ouverte	ouverte

6.4. Filtre rectangulaire en béton armé

On utilise généralement des filtres en béton armé pour de petites villes ou d'assez gros villages, dont les moyens financiers ne sont pas trop limités. De plus, il faut pouvoir disposer de personnel spécialisé pour la construction en béton armé.

La conception N° IV a une capacité théorique de $4 \times 100 \times 0,1 = 40 \text{ m}^3/\text{h}$ et une capacité de production de $960 \text{ m}^3/\text{j}$ (en marche continue).

Elle pourrait desservir une petite ville d'environ 12 000 habitants, avec une demande journalière en eau de 80 l/hab.j. Dans le cas de l'alimentation d'un groupe de villages, avec une demande journalière en eau de 40 l/hab.j., elle pourrait desservir une population de quelque 24 000 habitants.

Les ouvrages d'entrée et de sortie des filtres sont conçus de façon plus poussée, et l'accès aux tuyauteries et aux dispositifs de contrôle est optimum, puisqu'on a prévu une galerie des tuyauteries le long des filtres. Des moyens pour une chloration de sûreté ou une désinfection, au moyen de chlorure de chaux ou d'hypochlorite, sont prévus, et un local pour l'opérateur est placé au haut du réservoir d'eau traitée. La galerie des tuyauteries est fermée par une couverture en béton avec poignées escamotables pour les vannes de commande des filtres.

6.5. Disposition des stations de traitement pour les quatre conceptions typiques

En plus des conceptions des filtres lents à sable qui ont été étudiées aux paragraphes 6.1 à 6.4, nous allons donner ici quelques dispositions possibles de stations de traitement utilisant ces filtres.

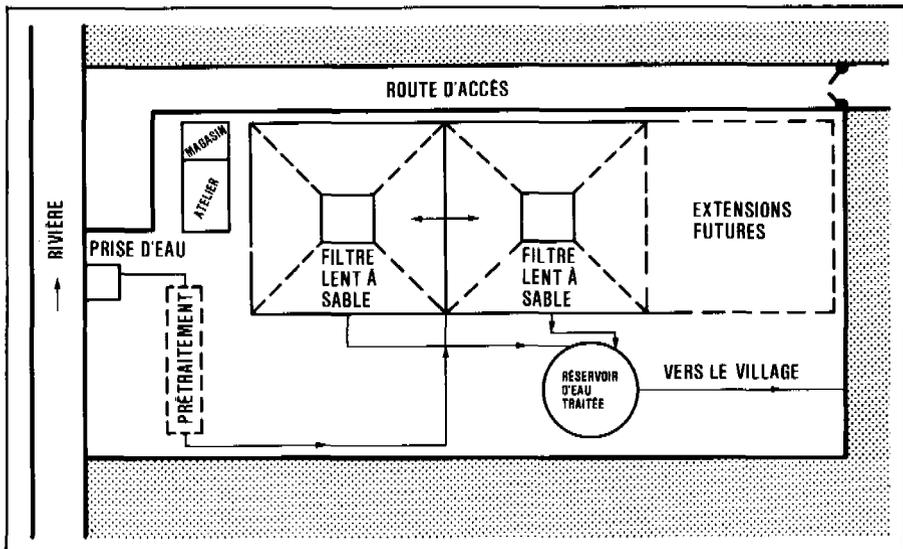


Fig. 6.5.
Disposition d'une station de traitement suivant conception typique No I.

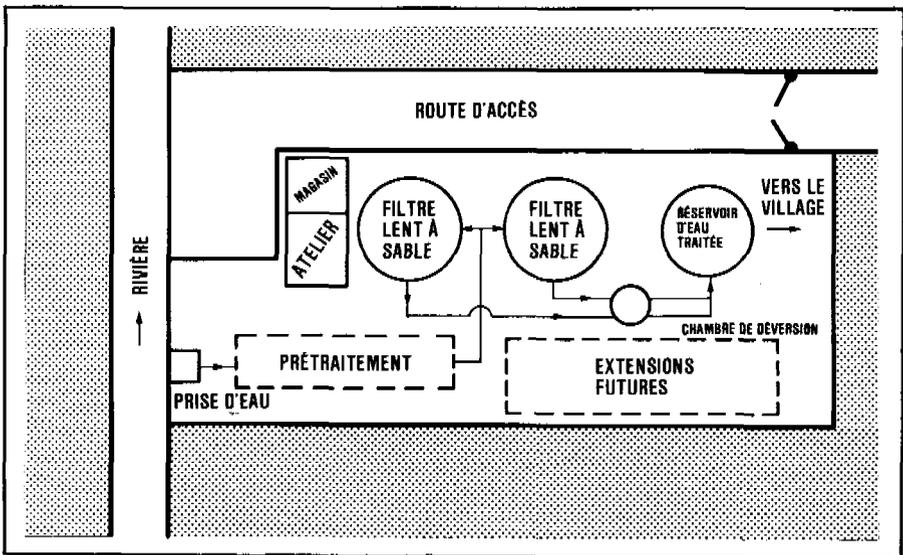


Fig. 6.6.
Disposition d'une station de traitement suivant conception typique No II.

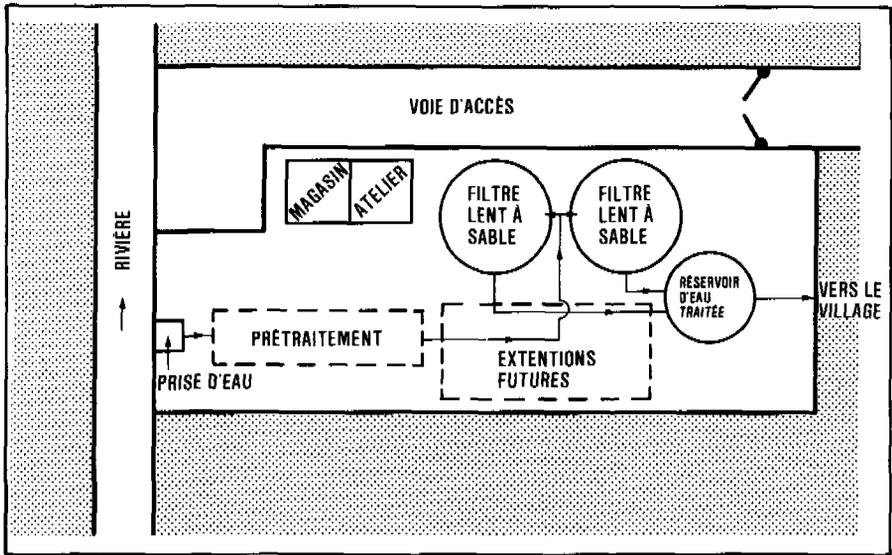


Fig. 6.7.
Disposition d'une station de traitement suivant conception typique No III.

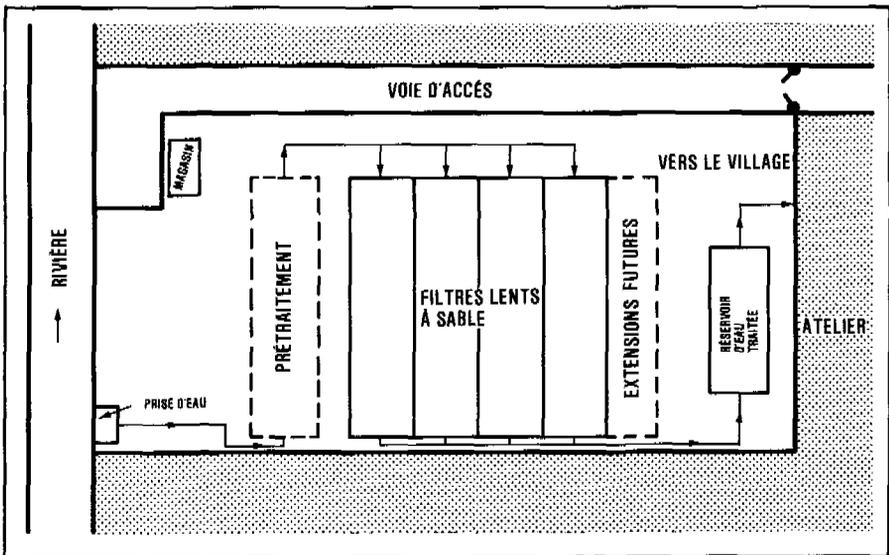


Fig. 6.8.
Disposition d'une station de traitement suivant conception typique No IV.

Afin de donner un tableau général de stations de traitement d'eau comportant des filtres lents à sable, nous avons, dans ces schémas, laissé de la place pour des appareils éventuels de prétraitement. Il est tenu compte en outre d'extensions futures de la station de traitement, ainsi que de services de base, comme un atelier pour l'opérateur, un magasin, des services sanitaires et des voies d'accès.

6.6. Capacité de production des quatre conceptions typiques

La capacité de production horaire des quatre conceptions typiques, déterminée par la surface totale des lits filtrants et la vitesse de filtration, est fixée à $0,1 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$.

La capacité de production journalière est fonction du mode d'exploitation, nombre de postes, marche continue, filtration à vitesse décroissante ou marche discontinue.

Le tableau 6.2 résume les capacités de production des quatre conceptions typiques pour différents modes d'exploitation.

*Tableau 6.2.
Capacité de production journalière des quatre conceptions typiques (I - IV)
pour différents modes d'exploitation*

Programme de marche journalière			Capacité de production journalière (m^3/j)			
FN (h)	FVD (h)	FF (h)	I	II	III	IV
8	-	16	112,9	25,5	25,5	320
8	16	-	211,7	47,8	47,8	600
16	-	8	254	50,9	50,9	640
16	8	-	324,6	66,8	66,8	840
24	-	-	338,7	76,3	76,3	960

où: FN = filtration normale, FVD = filtration à vitesse décroissante, FF = filtres fermés

Le nombre d'habitants pouvant être desservis par les quatre conceptions typiques dépend encore du mode d'exploitation, de la consommation d'eau journalière par habitant, des pertes, du gaspillage, etc.. En fixant la demande en eau par habitant (y compris les pertes et le gaspillage) à 40 l/hab.j., on trouvera au tableau 6.3 les valeurs de population pouvant être desservies.

Tableau 6.3.
Populations pouvant être desservies par les quatre conceptions typiques, pour une demande en eau de 40 l/hab./j. (pour divers modes d'exploitation)

Programme de marche journalière			Population pouvant être desservie			
FN (h)	FVD (h)	FF (h)	I	II	III	IV
8	-	16	2 822	636	636	8 000
8	16	-	5 292	1 195	1 195	15 000
16	-	8	6 350	1 272	1 272	16 000
16	8	-	8 115	1 670	1 670	21 000
24	-	-	8 467	1 908	1 908	24 000

où: FN = filtration normale, FVD = filtration à vitesse décroissante, FF = filtres fermés

6.7. Quantités de matériaux de construction nécessaires pour les quatre conceptions typiques

Sur la base des conceptions typiques indiquées ci-dessus, on a établi une représentation graphique de la relation entre les matériaux de construction nécessaires pour réaliser une station de filtration lente sur sable et la capacité de cette installation (en m³/h, ainsi qu'en m³/j pour un mode d'exploitation). La fig. 6.9, qui montre cette relation, peut être utilisée en vue d'une estimation grossière des matériaux de construction nécessaires pour réaliser une station de filtration lente sur sable. Le diagramme ne comprend pas les matériaux de construction nécessaires pour le prétraitement ou le post-traitement.

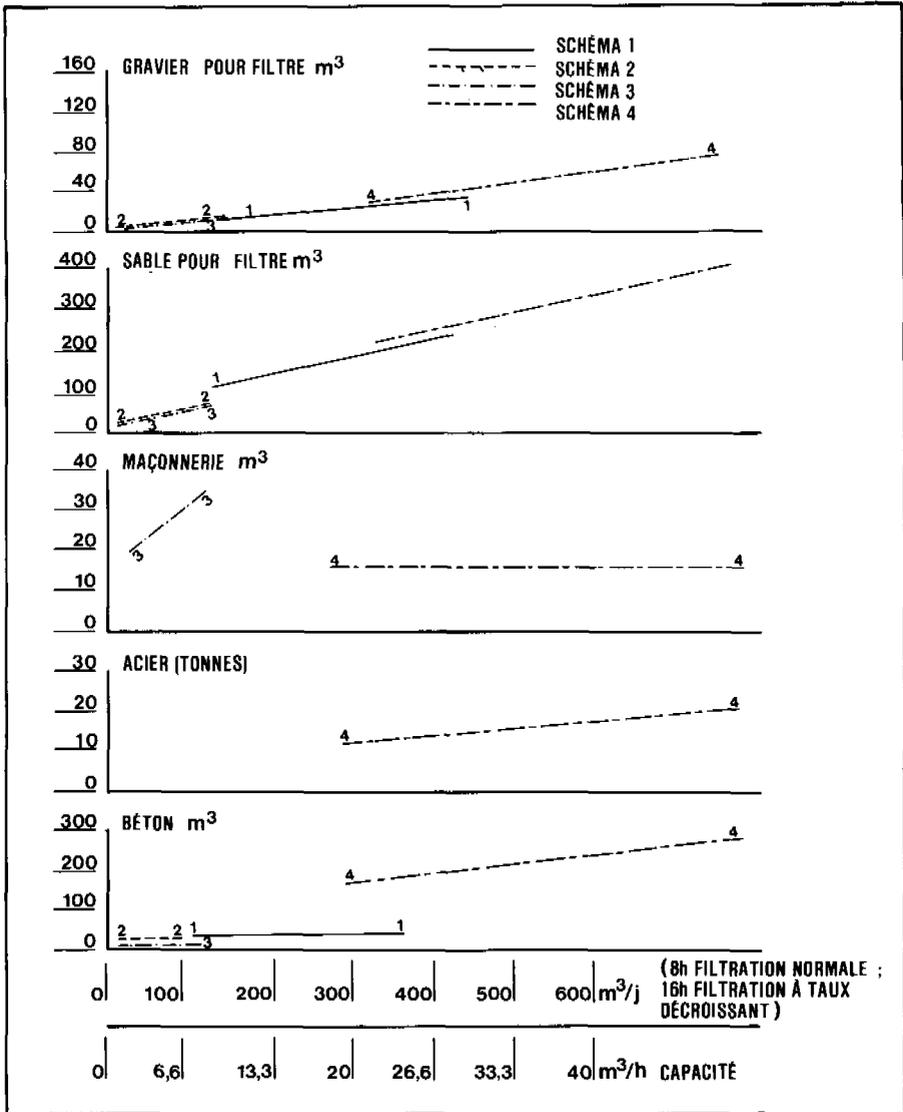


Fig. 6.9.
 Quantités de matériaux de construction nécessaires pour les quatre conceptions typiques.

6.8. Prix de revient des filtres lents à sable

Le coût d'investissement pour les filtres lents à sable est déterminé en grande partie par les prix de matériaux tels que le ciment, le gravier, l'acier pour armatures, le sable de filtration, les tuyaux, vannes et autres. Il y a lieu d'établir le prix de revient des quantités de matériaux nécessaires pour les conceptions typiques, en se basant sur les cours locaux des matériaux. Les tarifs de ces matériaux peuvent varier dans de larges limites, selon diverses circonstances régionales et locales. Par suite, en principe, les tentatives pour calculer des prix unitaires très exacts (par exemple, prix de revient par m^3/h de production) sont vouées à l'échec. Toutefois, étant donné qu'une évaluation du prix de revient de filtres lents à sable peut être utile pour des fins d'établissement de projets, nous donnons au tableau 6.4 une estimation des coûts des matériaux par unité de production pour les 4 conceptions typiques. Il ne faut pas oublier que ce tableau, basé sur des renseignements recueillis pour le projet de filtration lente sur sable, ne comprend pas les frais de construction, tels que frais de main-d'oeuvre et honoraires d'entrepreneurs.

*Tableau 6.4.
Fourchette estimée des prix de revient (en \$ US) des matériaux pour filtres lents à sable, par unité de production (m^3/h) pour les 4 conceptions typiques*

Filtre à parois en pente protégées	1000 - 4000	\$ US par m^3/h
Filtre en ciment armé	1500 - 6000	" " "
Filtre en maçonnerie	1500 - 6000	" " "
Filtre en béton armé	3000 - 12000	" " "

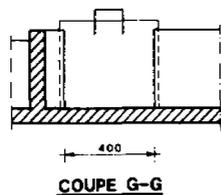
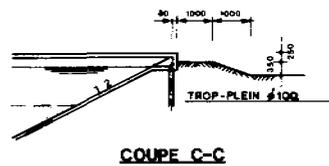
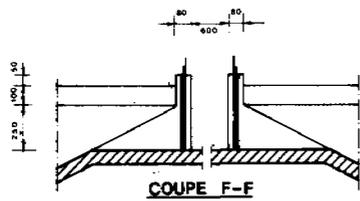
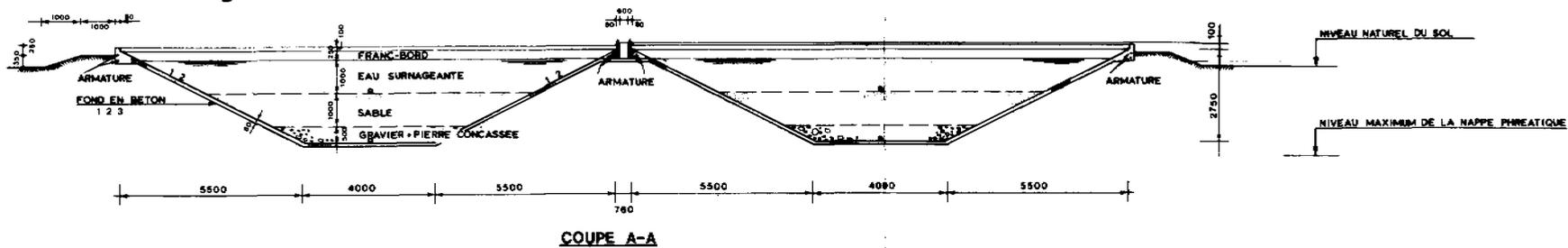
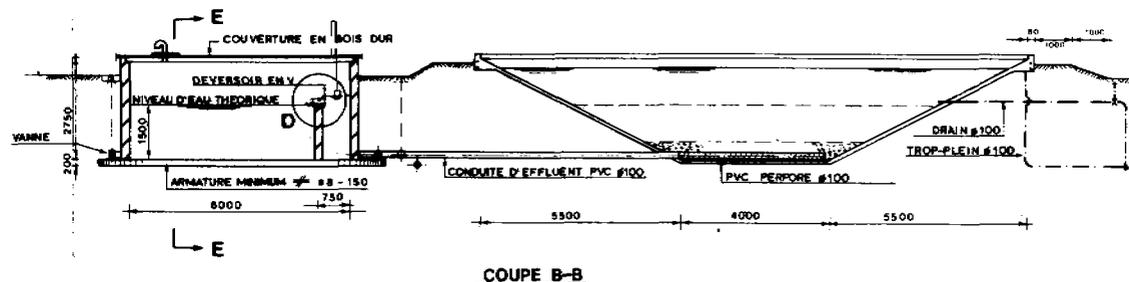
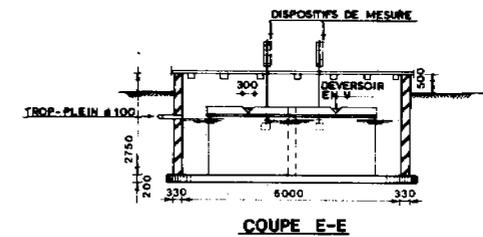
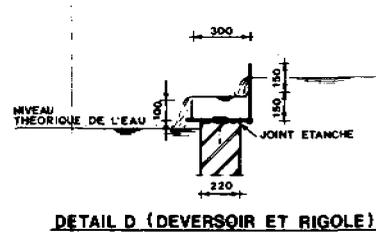
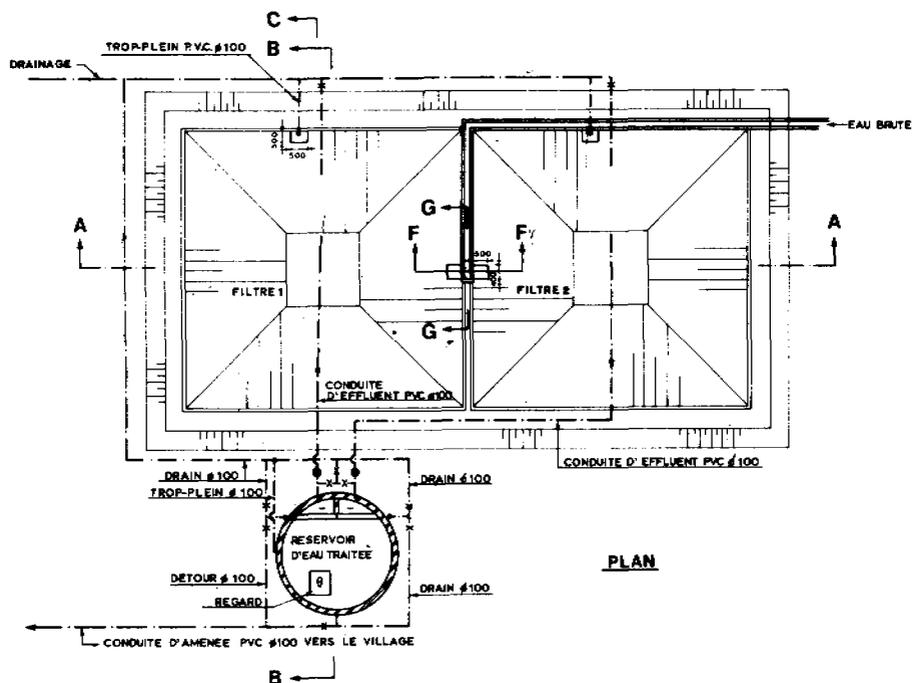
Il faut remarquer en outre que, - dans les limites des filtres couverts par ce manuel, - le tableau comprend l'économie de l'échelle. Il peut cependant se produire, dans des cas extrêmes, des écarts avec les chiffres indiqués, par exemple en cas de frais de transport élevés des matériaux.

Si la quantité totale d'eau disponible est fixée à 2 l/hab.h (ou 48 l/hab.jour), les chiffres du tableau 6.4 peuvent être convertis en coût par habitant. Voir tableau 6.5.

*Tableau 6.5.
Fourchette estimée des prix de revient (en \$ US) des matériaux pour filtres lents à sable par habitant desservi (sur la base des quatre conceptions typiques)*

Filtre à parois obliques protégées	2 - 8 \$ US/habitant
Filtre en ciment armé	3 - 12 "
Filtre en maçonnerie	3 - 12 "
Filtre en béton armé	6 - 24 "

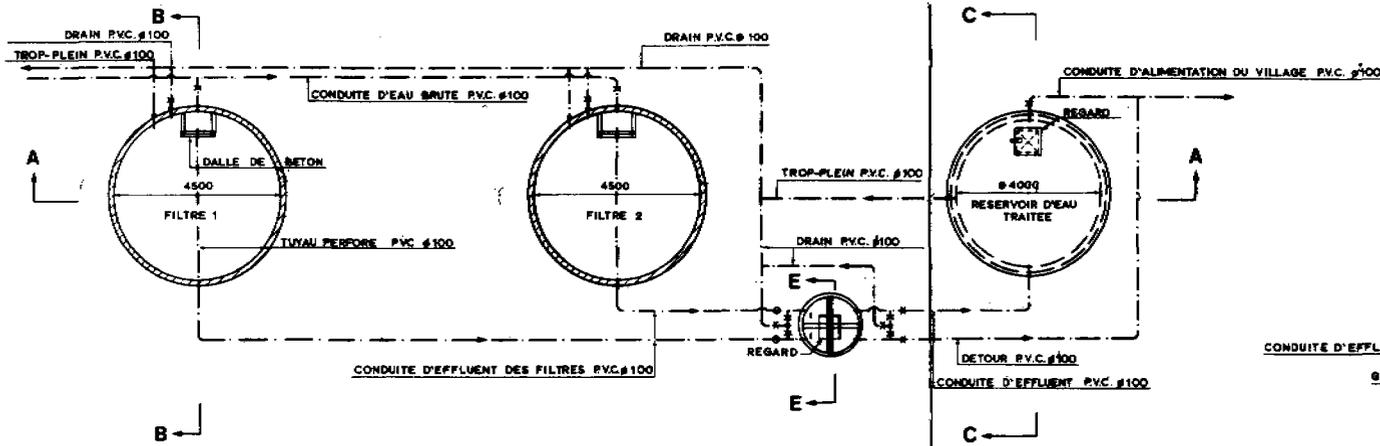




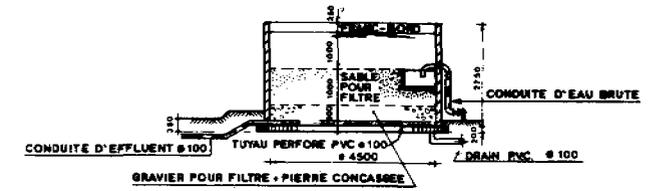
QUANTITES NECESSAIRES	
MATERIAU	QUANTITES
BETON 1:2:3	75 m ³
ACIER D'ARMATURE	1000 kg
MAÇONNERIE	10 m ³
SABLE A FILTRATION 0.15 - 0.35 mm 1000 mm	200 m ³
GROS SABLE 1.00 - 1.40 mm. 100 mm	500 mm
GRAVIER 4.00 - 5.80 mm. 100 mm	
GRAVIER 18 - 43 mm. 150 mm	
PIERRE CONCASSEE 50 - 100 mm. 150 mm	50 m ³
ROBINETS-VANNES	10
VANNES A PAPILLON	2
TUYAUX PVC #100	250 m ¹
COUDES A 90°	15
TES	15

FILTRATION LENTE SUR SABLE	
CONCEPTION TYPIQUE N° 1	COTES EN MM DATA 780530
FILTRES A PAROIS OBLIQUES PROTEGEES	
CAPACITE 141 m ³ /h (113-338 m ³ /jour)	
T.W.D.	FIG. 6.1

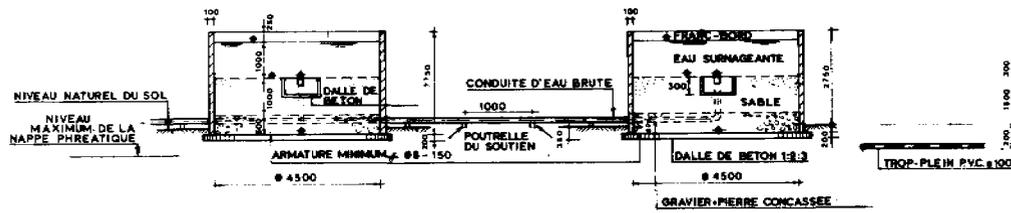
--- ROBINET-VANNE
 --- VANNE A PAPILLON



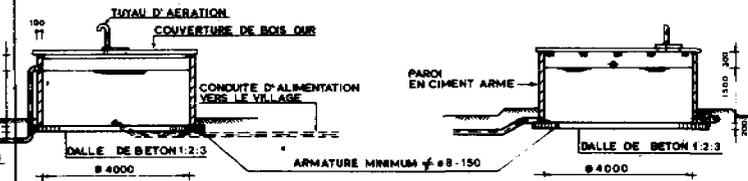
PLAN



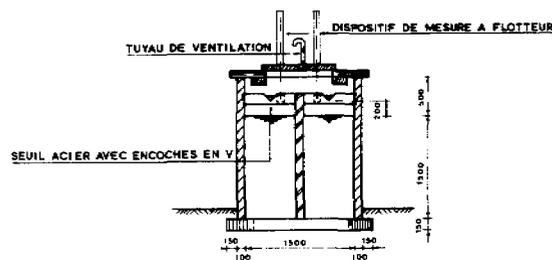
COUPE B-B



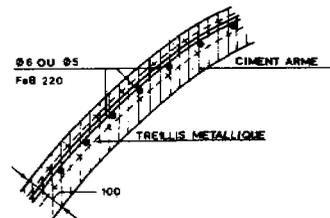
COUPE A-A



COUPE C-C



COUPE E-E

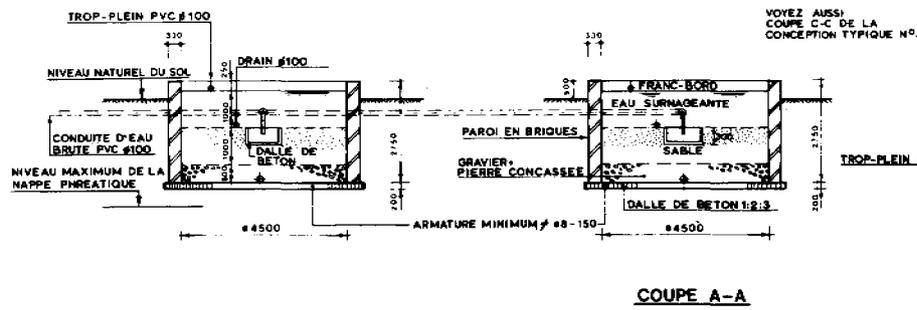
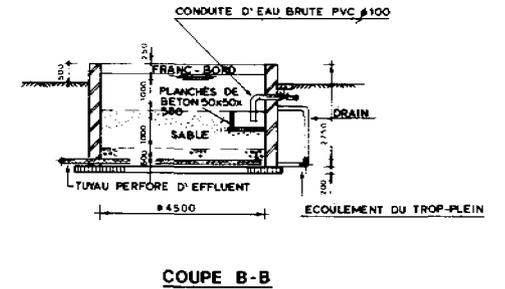
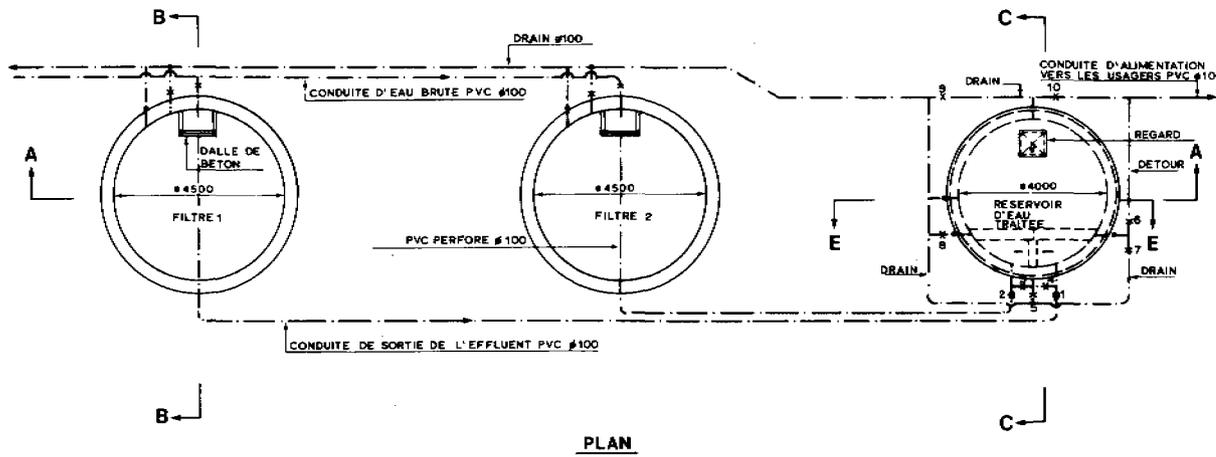


COUPE DE LA PAROI

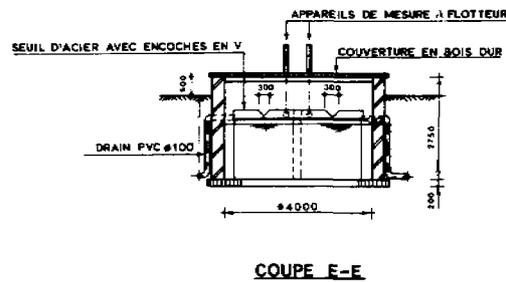
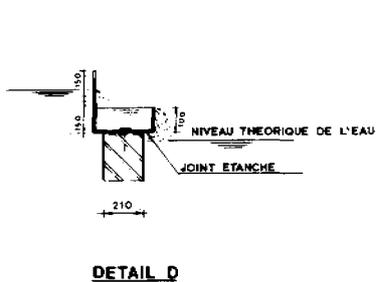
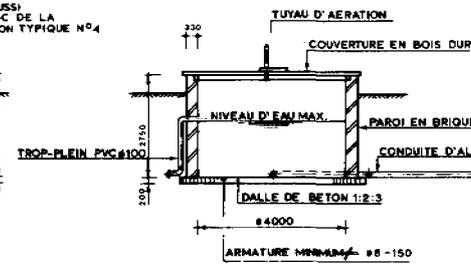
QUANTITES NECESSAIRES	
MATERIAU	QUANTITES
BETON 1:2:3	10 m ³
ACIER D'ARMATURE	2500 kg
FERRO CIMENT	12 m ³
SABLE A FILTRATION	0.15 - 0.25 mm 1000 mm
GRAVIER	4.00 - 5.60 mm 100 mm
PIERRE CONCASSÉE	16 - 23 mm 150 mm
	50 - 100 mm 150 mm
	500 mm
	16 m ³
ROBINETS-VANNES	13
VANNES A PAPILLON	2
TUYAUX PVC ø100	150 m ¹
COUDES A 90°	32
TES	14
TREILLIS METALLIQUE	300 m ²

FILTRATION LENTE SUR SABLE	
CONCEPTION TYPIQUE	COTES EN MM
N° 2	DATE 780530
FILTRES EN CIMENT ARME	
CAPACITE 3.2 m ³ /h (25.6 - 76.8 m ³ /jour)	T.W.O. FIG. 6.2

— X — ROBINET-VANNE
— O — VANNE A PAPILLON



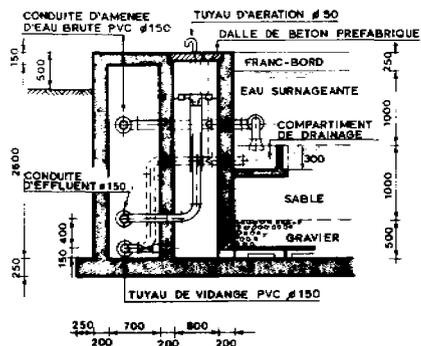
VOYEZ AUSSI
COUPE C-C DE LA
CONCEPTION TYPIQUE N°4



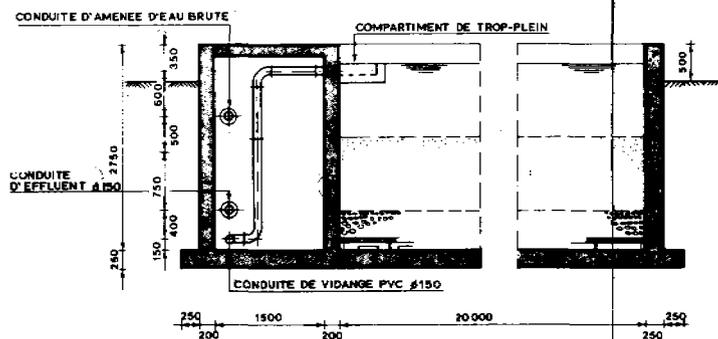
QUANTITES NECESSAIRES	
MATERIAU	QUANTITES
BETON 1:2:3	10 m ³
ACIER D'ARMATURE	1000 kg
MACONNERIE	40 m ³
SABLE DE FILTRATION 0,15 - 0,35 mm:1000 mm	32 m ³
GROS SABLE 1,00 - 1,40 mm: 100 mm	500 mm
GRAVIER 4,00 - 5,60 mm: 100 mm	
GRAVIER 16 - 23 mm: 150 mm	
PIERRE CONCASSEE 50 - 100 mm: 150 mm	16 m ³
ROBNETS-VANNES	12
VANNETS A PAPILLON	2
TUYAUX PVC #100	150 m
COUDES A 90°	26
TES	15

FILTRATION LENTE SUR SABLE	
CONCEPTION TYPIQUE N°3	COTES EN MM DATE 780530
FILTRES EN MACONNERIE	
CAPACITE 3,2 m ³ /h (25,6 - 76,8 m ³ /jour)	T.W.O. FIG. 6.3

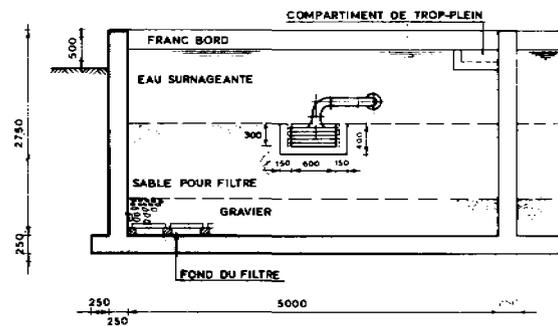
- — — — — ROBINET-VANNE
- — — — — VANNE A PAPILLON



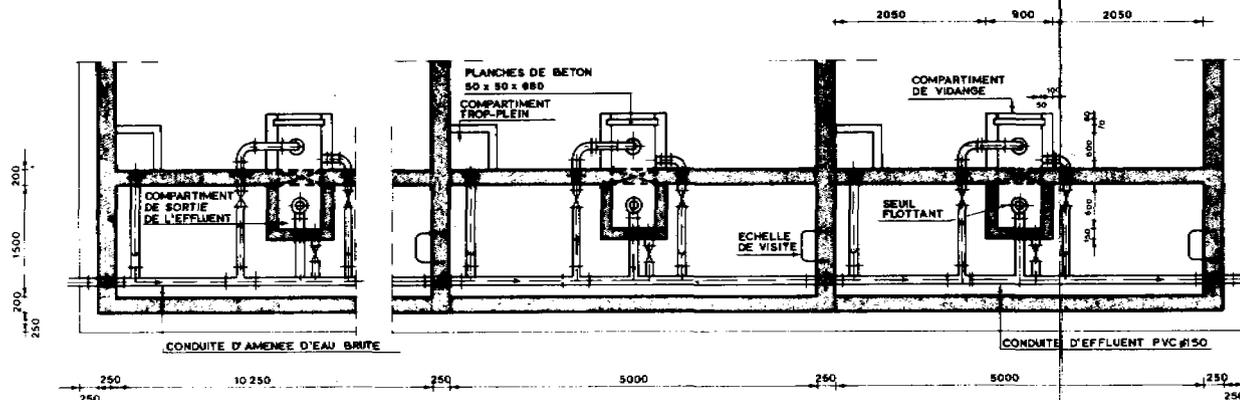
COUPE A-A



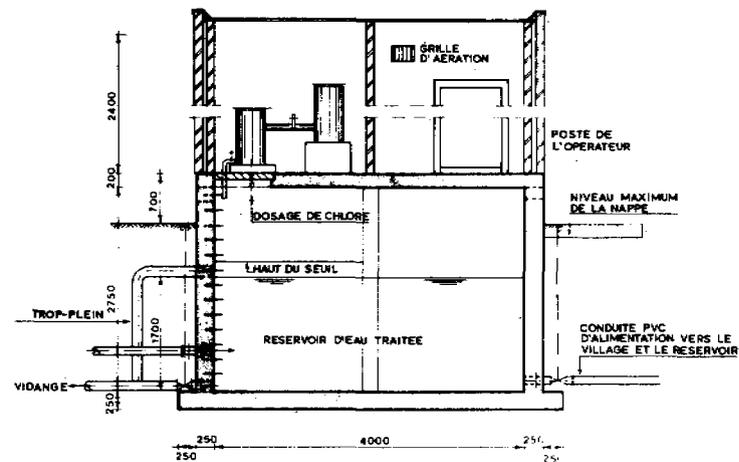
COUPE B-B



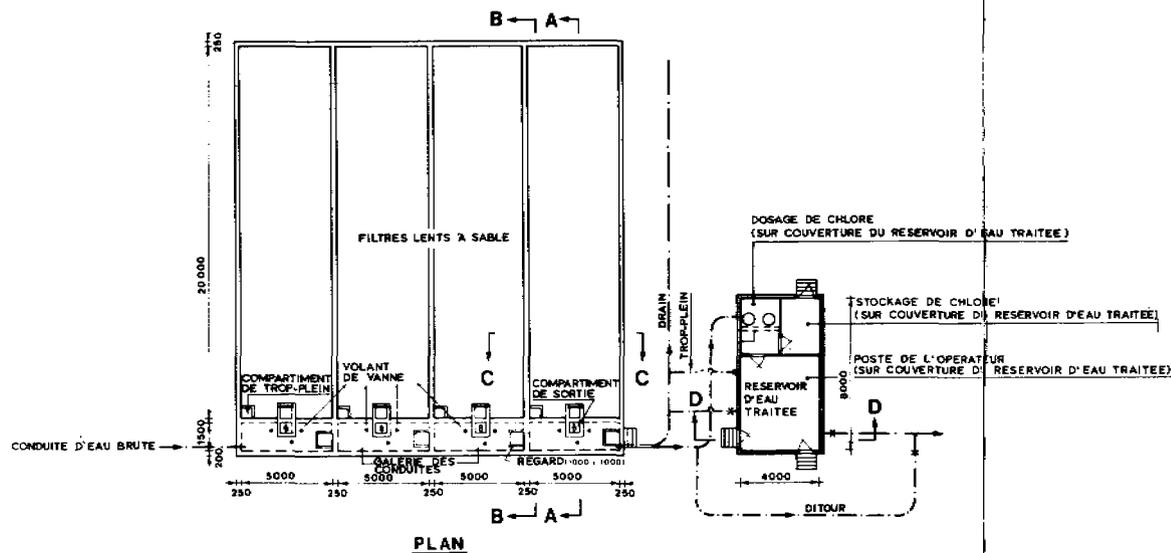
COUPE C-C



COUPE HORIZONTALE DE LA GALERIE DES CONDUITES



COUPE D-D



PLAN

QUANTITES NECESSAIRES	
MATERIAU	QUANTITES
BETON 1:2:3	260 m ³
ACIER POUR ARMATURE	16 000 kg
MAÇONNERIE	18 m ³
SABLE A FILTRE	400 m ³
GROS SABLE	140 m ³
GRAVIER	140 m ³
ROBINETS-VANNES	15
TUYAUX PVC #150	150 m ^l
COUDES A 90°	40
TES	25

FILTRATION LENTE SUR SABLE		
CONCEPTION TYPIQUE N° 4	COTES EN MM	
FILTRES EN BETON ARME	DATE 780530	
CAPACITE 40 m ³ (320-960 m ³ /jour)	T.W.O.	FIG. 6.4

7. Mise en oeuvre d'installations de filtration lente sur sable

7.1. Introduction

La tâche de l'auteur de projet ne se termine pas, d'ordinaire, lorsque l'étude détaillée d'une station de traitement d'eau est achevée. Le moment est alors venu de collecter les fonds, d'effectuer les formalités administratives (documents pour la soumission et programmes de travaux) et, surtout, de coordination.

Il est bien évident que l'auteur de projet n'aura pas seul la responsabilité de l'avancement du projet, mais il doit en tout état de cause stimuler les autres participants dans leur travail. En général, on peut distinguer deux approches différentes pour la réalisation d'un projet d'alimentation en eau, c'est-à-dire: réalisation avec le concours d'entrepreneurs rétribués, ou avec la participation de la population bénéficiaire. La tâche de l'auteur de projet va donc être considérablement différente dans ces deux cas. Dans le premier cas, l'auteur de projet va agir pour le compte du client (probablement un organisme gouvernemental ou semi-gouvernemental), et une fois établis les documents pour l'adjudication, sa participation va se limiter à une supervision. Cependant, dans les projets réalisés avec l'aide de la population locale, l'auteur de projet peut jouer le rôle de maître d'oeuvre chargé de coordonner le projet, le travail de la population participante et les activités des fournisseurs, des agents officiels et autres personnes concernées. Il lui faudra faire des réservations pour la fourniture des matériaux, planifier les activités ultérieures et coordonner la surveillance quotidienne.

Pour donner une idée de ces problèmes, nous allons ci-dessous étudier plus en détail quelques aspects de l'adjudication, de l'organisation et de la surveillance. Dans les deux derniers paragraphes de ce chapitre, nous aborderons quelques aspects importants concernant le processus de construction.

7.2. Appel d'offres

Si les travaux (ou une partie des travaux) doivent être réalisés par des entrepreneurs, il faut établir les documents appropriés pour l'appel d'offres.

Le dossier de soumission comprend:

1. Le formulaire de soumission
2. Le formulaire de contrat
3. Les conditions générales du contrat
4. Les conditions particulières du contrat
5. Des spécifications techniques (cahier des charges) pour l'exécution des travaux
6. Des listes des matériaux nécessaires

On peut y inclure, si on le désire, une liste de références, à fournir par l'entrepreneur, indiquant sa qualification, des instructions pour les soumissionnaires, des renseignements généraux, une liste d'équipement, des garanties pour la soumission et la performance, etc..

Le formulaire de soumission, le formulaire de contrat et les conditions générales du contrat comportent des prescriptions légales et administratives, qui ont été normalisées sur le plan international dans les "Conditions of contract (international) for works of civil engineering construction" (15).

On peut se procurer des exemplaires de ces documents complets en s'adressant aux organismes mentionnés à l'Annexe 9.

Les conditions particulières du contrat ont trait aux règlements administratifs et légaux applicables spécifiquement au pays ou aux travaux spéciaux concernés, comme par exemple: conditions de paiement, travail de nuit, etc.. Ces conditions peuvent être fixées sur la base des conditions générales mentionnées ci-dessus.

Le cahier des charges, comprenant des plans et les listes des matériaux nécessaires, constitue le "cœur" de la soumission. Il doit contenir une description précise et complète des travaux à exécuter, de la manière dont ils doivent être effectués et des matériaux à employer. Les matériaux à employer peuvent être déterminés en se référant à des paramètres de qualité normalisés sur un plan national ou international (voir également Annexe 5). La description du mode d'exécution des travaux doit renfermer des normes de précision, de gauchissement du boisage, etc.. Ces normes sont souvent aussi décrites dans des manuels d'instructions utilisés sur un plan national ou international (voir Bibliographie).

Les instituts nationaux de génie civil peuvent également être en mesure de fournir des instructions à utiliser dans le dossier de soumission. Il faut toujours se rappeler que le dossier de soumission remplit les fonctions suivantes:

1. Communiquer des connaissances et des intentions
2. Fournir un guide pour l'exécution des travaux
3. Contenir des documents légaux pour le contrat
4. Fournir une base pour le devis de l'entrepreneur
5. Indiquer les devoirs et les responsabilités des personnes intervenant dans l'exécution
6. Fournir des moyens pour inspecter et tester l'exécution des travaux.

L'adjudication peut être publique ou par convention privée, selon les circonstances locales (connaissance étroite de l'entrepreneur, effet escompté sur le coût et la qualité du travail).

Dès que les documents du contrat sont signés, les travaux peuvent démarrer. Le rôle de l'ingénieur-auteur de projet se borne alors d'ordinaire aux points suivants:

1. coordination des travaux, si plus d'un entrepreneur sont au travail sur le chantier
2. coordination des activités entre l'entrepreneur et le client
3. surveillance et contrôle de l'exécution du contrat
4. contrôle et approbation des dépenses.

7.3. Planification et organisation

Dans les projets réalisés avec les moyens du bord notamment, il est indispensable que l'auteur de projet, qui remplit le rôle de maître d'oeuvre, ait une certaine connaissance des techniques d'organisation et de programmation.

Il se produit fréquemment, sur les chantiers de constructions, des gaspillages de matériaux et de temps, qui résultent d'une mauvaise organisation des travaux. Il n'est pas besoin d'insister davantage sur les effets d'un retard dans les commandes de matériaux ou d'outils essentiels.

On peut dire qu'une bonne organisation des travaux est réalisée lorsque l'efficacité des ouvriers atteint le niveau le plus élevé possible. L'inefficacité ne saurait évidemment être totalement exclue car, par exemple, les ouvriers eux-mêmes peuvent ne pas avoir une formation suffisante pour utiliser la technique la plus efficace pour un travail déterminé. En général, les mesures d'organisation suivantes peuvent améliorer l'efficacité:

1. établissement de plans; détermination des moyens, de la séquence des opérations, du temps et de la place nécessaires
2. Division des tâches; motivation des ouvriers en leur décrivant clairement leur travail
3. coordination; transmission de communications aux ouvriers, amélioration de la collaboration
4. contrôle; vérification des résultats avec les plans
5. correction; modifier les plans en vue d'atteindre le but.

Il est clair, d'après ce qui précède, que la programmation constitue une partie importante de l'organisation. La nécessité d'une planification peut être illustrée par les conséquences de son absence, existence de "goulots d'étranglement", manque d'équipement ou de personnel et gaspillage.

On a mis au point de nombreuses techniques pour la planification des travaux; certaines d'entre elles sont tellement compliquées que leur application exige des programmes d'ordinateur. Nous étudions seulement, dans le cadre de ce manuel, des techniques de planification simples pour la relation entre l'importance des travaux, la séquence des opérations et le temps nécessaire.

Les programmes de temps sont établis d'ordinaire sous forme de graphiques en barres et donnent une projection systématique du déroulement prévu du projet.

En comparant les progrès réels avec les prévisions, on peut relever des différences et prendre des mesures correctives.

Pour établir un programme de temps, le maître d'oeuvre doit inscrire:

1. Que faut-il exécuter?
2. En quelles quantités ces travaux doivent-ils être faits?
3. Quand faut-il exécuter ces travaux?
4. Par qui cela doit-il être fait?
5. Quels sont les moyens nécessaires à cet effet?

Il n'est évidemment pas nécessaire d'établir des plans détaillés longtemps à l'avance; des plans approximatifs peuvent être suffisants dans le premier cas, tandis qu'on peut établir des plans plus détaillés à un stade ultérieur. Outre le programme des délais pour les travaux sur le site, il y a lieu d'établir des "sous-programmes" pour les activités préparatoires (par exemple: engagements de personnel, commandes d'outils et de matériaux). Un point important, dans les programmes de délais, est la succession des opérations; pour des fondations en béton armé par exemple, le programme est le suivant:

1. Piquetage de la tranchée
2. Excavation
3. Réalisation du boisage
4. Coulage de la plate-forme de travail

5. Cintrage et fixation de l'armature
6. Coulage de la fondation

Ces opérations peuvent être reproduites au moyen d'un graphique en barres, pour lequel sont indiqués des laps de temps, divisés horizontalement par ce qu'on appelle des "coupures de plans". Pour chacune de ces parties, on peut indiquer le nombre d'opérations prévues, ainsi que le nombre total d'opérations. Ceci donne un contrôle simple de la marche des travaux.

A titre d'exemple, on peut représenter, de la manière illustrée à la Fig. 7.1, les travaux sur les fondations de quatre filtres en béton armé.

mois semaine	mois 1				mois 2				mois 3		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
opération											
piquetage de la tranchée	(2)	(2)									
excavation			(1)	(1)	(1)	(1)					
boisage							(4)				
coulage de la plateforme de travail								(4)			
confection de l'armature										(4)	
coulage de la fondation											(4)



ou: les chiffres entre parenthèses indiquent le nombre de filtres mis en oeuvre.

Fig. 7.1.
Programme de travail pour la réalisation des fondations de 4 filtres en béton armé.

7.4. Instructions pour la construction

Dans les projets réalisés avec les moyens du bord, l'auteur de projet devra en général jouer le rôle de chef de l'équipe de construction. Ceci implique qu'il va devoir être engagé activement dans les travaux et la surveillance, plus que dans le cas où les travaux sont exécutés par des entreprises. Il faut donc que l'auteur de projet ait de l'expérience en matière de construction. Il est toutefois certains expédients et accessoires qu'il peut employer avantageusement lorsqu'il doit organiser les travaux et donner des instructions aux ouvriers. Les organisations régionales et nationales doivent probablement disposer d'instructions normalisées pour la construction, mais on peut faire appel également à des manuels de construction tels que le "Manual on Concrete Practice" (19) et "A manual on building construction" (20).

Dans les pays qui disposent d'un fort potentiel de main-d'oeuvre, l'auteur de projet devrait s'attacher à la construction avec utilisation intensive de main-d'oeuvre, et renoncer à l'emploi d'engins mécaniques. Un facteur important, dans la construction avec utilisation intensive de main-d'oeuvre, est la motivation et l'intérêt des ouvriers dans le projet. Si les ouvriers bénéficient eux-mêmes des travaux, il ne doit alors y avoir aucun problème, mais si tel n'est pas le cas, il peut être nécessaire de susciter l'intérêt des ouvriers en les rétribuant aux pièces.

Pour tous renseignements sur les propriétés et le traitement des matériaux de construction utilisés, le lecteur pourra se reporter à l'Annexe 5.

Le point le plus important, dans l'exécution des travaux, consiste à apporter la plus grande attention à l'étanchéité du bassin filtrant et aux conduites d'eau traitée. Cela implique le nettoyage des joints de coulée, la bonne compaction du béton afin d'éviter la formation de "nids" de gravier, et en employant le moins d'eau possible pour la confection. Il est nécessaire aussi de maintenir le bois-

ge et l'ouvrage en état d'humidité pendant plusieurs semaines après le coulage, afin de limiter les contraintes dues à la température et l'évaporation de l'eau de gâchage. Des clôtures peuvent aussi être employées pour protéger le béton frais contre le soleil les vents.

Le coulage et le tassement devraient être effectués aussi rapidement que possible; la lenteur et les retard pendant le coulage ne devraient jamais se produire.

Un autre point important est qu'il ne faut pas mettre en place le sable de filtration avant que la terre extraite de la fouille de fondation ait été remblayée; ceci a pour but de limiter les contraintes de traction. Il est important en outre d'attacher la plus grande attention à une bonne compaction du sous-sol (avant le démarrage de la construction), afin de limiter les tassements différentiels et les forces de traction dans la fondation en "radeau".

Pour ce qui concerne de plus amples détails sur l'exécution de processus de construction, le lecteur est prié de se reporter aux manuels de construction indiqués dans la bibliographie. A titre d'exemple, nous allons aborder ci-dessous divers aspects du boisage des éléments de construction pour stations de filtration lente sur sable.

Exemple: Boisage de travaux de bétonnage.

Pour l'étaçonnage, on peut employer l'amiante-ciment et l'acier, mais le bois est le matériau le plus couramment utilisé. Les dimensions minima des planches de bois utilisées en boisage sont de 25 x 150 mm pour les longrines et les appuis; on utilise des couvre-joints d'au moins 65 x 165 mm. Il faut faire sécher le bois pendant un certain temps, car le bois non traité se resserre.

Il faut bien entendu que le boisage soit à même de transmettre le poids du béton sans déplacement horizontal ou vertical et sans ce cintrer. Les parois verticales doivent être convenablement

soutenues. Au cours de la confection du boisage, il faut ménager quelques ouvertures pour permettre l'enlèvement des impuretés, des fils et de la sciure de bois. Il est important de vérifier que le boisage est bien d'aplomb.

On peut faciliter l'enlèvement du boisage en recouvrant l'intérieur du boisage avec une huile pour coffrage ou toute autre matière grasse.

Coffrage du fond.

Le fond du filtre peut être coulé directement sur le sol naturel ou sur une plate-forme de travail de 50 mm de béton 1:3:5 (voir Annexe 5). Les côtés du fond sont délimités au moyen de piquets et de planches pour coffrage (de 2,5 x 150 mm). Les piquets doivent être solidement enfoncés au marteau dans le sol pour pouvoir résister aux déformations. Le fond du filtre est d'ordinaire prolongé de 0,10 à 0,20 m afin de pouvoir fournir l'espace nécessaire pour le coffrage des parois (voir Fig. 7.2).

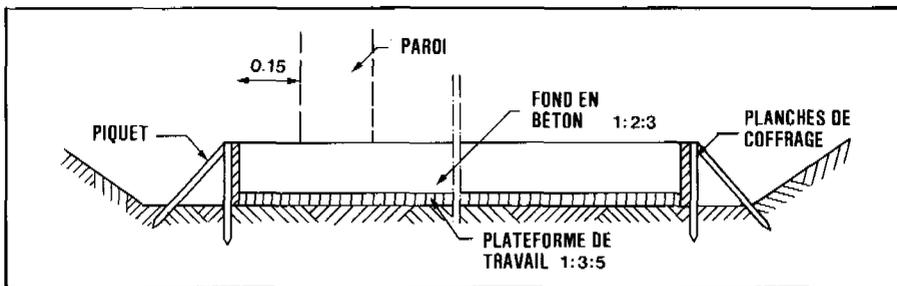


Fig. 7.2.
Coffrage du fond.

Coffrage des parois.

Les planches de coffrage pour les parois des filtres peuvent être clouées sur des pieux verticaux placés à intervalles de 0,75 m. Comme la pression horizontale du béton est importante, il faut que le coffrage soit maintenu par des étaçons. Les pieux peuvent être reliés

entre eux au moyen de chevilles (voir Fig. 7.3). Le desserrage de ces chevilles aussitôt après durcissement du béton a pour inconvénient l'apparition de gros trous et fissures dans le béton. Après un durcissement suffisant, les chevilles ne laissent subsister que de petits trous propres, que l'on peut alors obturer avec du mortier.

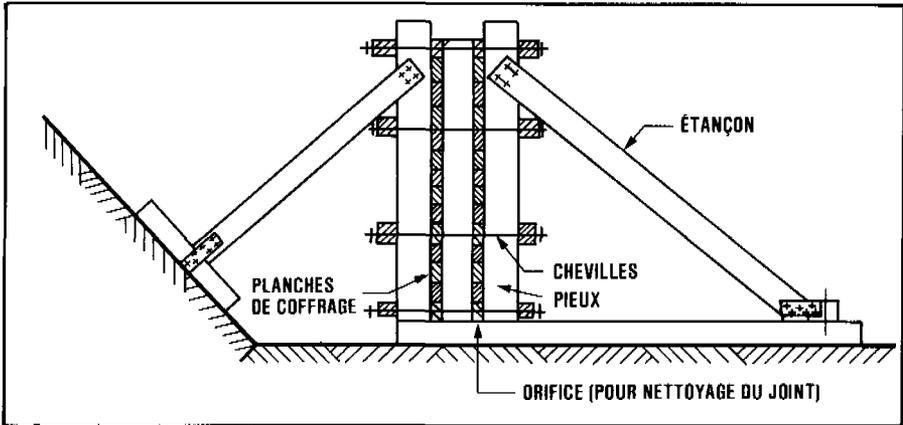


Fig. 7.3.
Coffrage des parois.

Coffrage de la couverture (réservoir d'eau traitée).

Le coffrage peut se composer de planches (2,5 x 150 mm) soutenues par des poutrelles placées sur champ. Ces poutrelles sont maintenues par des poutrelles disposées perpendiculairement. La liaison entre planches et poutrelles est réalisée en clouant de courtes planches (0,4 m de longueur) de part et d'autre. Les poutrelles verticales reposent sur des planches, avec interposition de coins en vue de l'enlèvement du coffrage. Les poutrelles horizontales sont reliées par des étançons afin de donner de la rigidité au coffrage (voir Fig. 7.4).

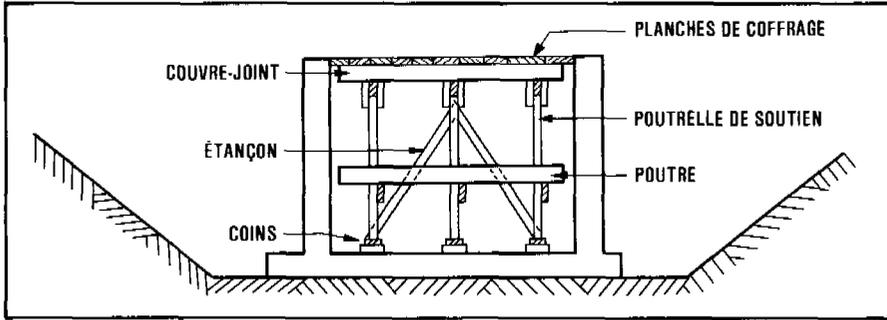


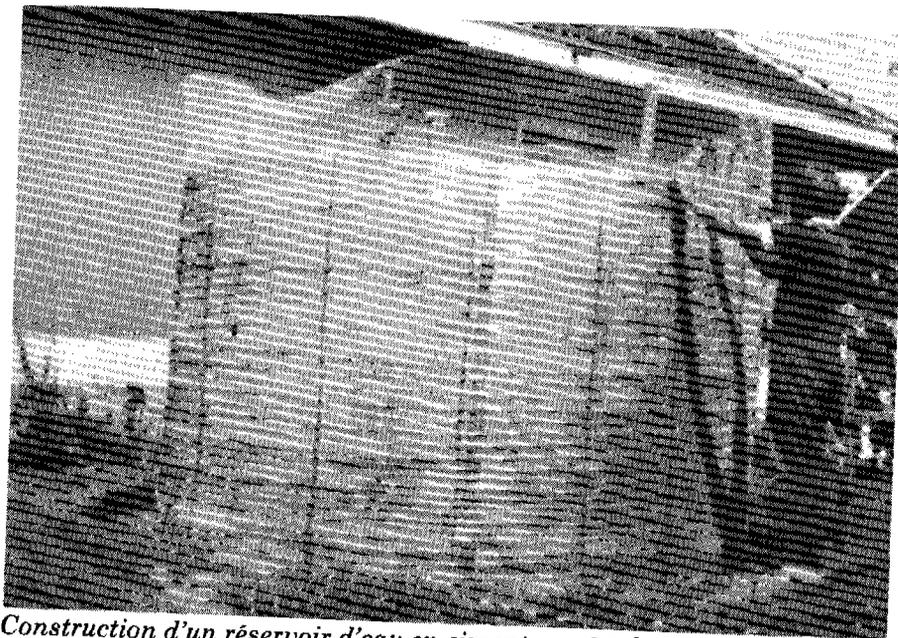
Fig. 7.4.
Coffrage de la couverture.

7.5. Liste de contrôle de la succession des opérations pour la construction de filtres lents à sable

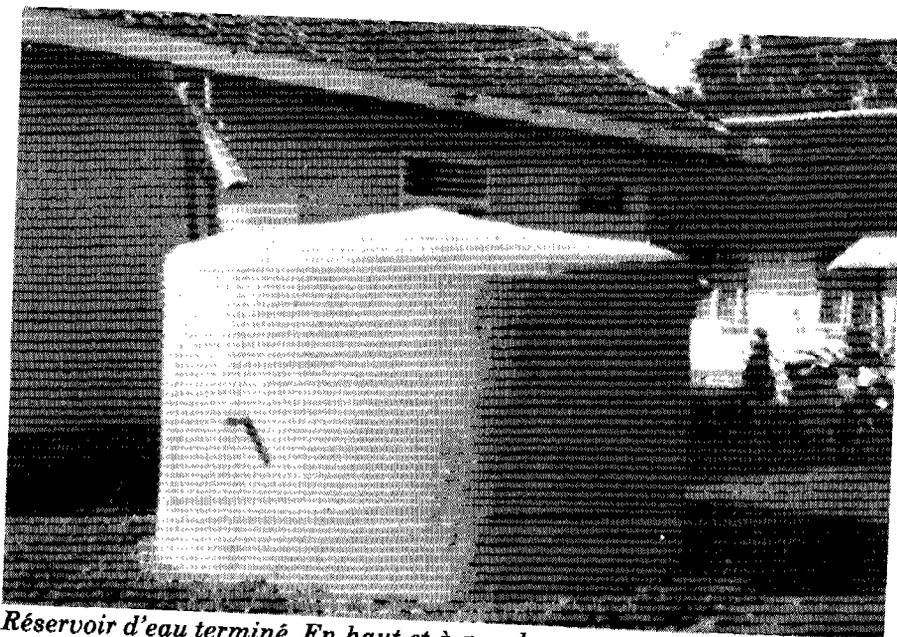
La réalisation de filtres lents à sable s'effectue conformément aux principes normaux de la construction. Ceci signifie entre autres que certaines opérations ne peuvent être exécutées que quand d'autres sont terminées, c'est-à-dire qu'il y a une séquence d'opérations, déterminée par le processus de construction et par les caractéristiques physiques des matériaux de construction. Nous donnons ici une simple liste de contrôle, dans laquelle est résumée la succession des opérations pour la construction de filtres lents à sable:

- nettoyage du site
- démarrage des travaux
- (drainage de la fouille)
- excavation
- travaux de bétonnage des fondations
- c'est-à-dire: mise en place du coffrage
 - fixation de l'armature
 - confection du béton
 - coulage du béton
 - vieillissement du béton
 - enlèvement du coffrage
- travaux de bétonnage pour les parois des filtres identiques à celles pour les fondations
- mise en place des tuyauteries et accessoires

- finition des travaux de bétonnage
- mise en place du réseau de drains
- mise en place des couches de graviers
- mise en place du lit de sable
- (fermeture de toutes les vannes de drainage)
- achèvement de l'installation des accessoires



Construction d'un réservoir d'eau en ciment armé à Lombok (Indonésie).



Réservoir d'eau terminé. En haut et à gauche, tuyau d'amenée et filtre simple (contenant de la fibre de palme).

Vertical line on the left side of the page.

Annexes

Vertical line on the left side of the page.

Annex 1.

Critères de qualité des eaux

Cette annexe résume les Normes Internationales de l'O.M.S. pour l'Eau potable (16).

- a) - Normes pour la qualité bactériologique de l'eau potable:
1. Durant toute l'année, 95% des échantillons ne doivent contenir aucun germe coliforme dans 100 ml.
 2. Aucun échantillon ne doit contenir d'E. coli dans 100 ml.
 3. Aucun échantillon ne doit contenir plus de 10 germes coliformes par 100 ml.
 4. On ne doit pas pouvoir déceler de germes coliformes dans 100 ml de deux échantillons consécutifs.
- b) - Substances et caractéristiques affectant l'admissibilité de l'eau pour l'usage domestique:

Substance ou caractéristique	Effet indésirable pouvant être produit	Teneur maximale admissible	Teneur excessive
Substances causant une coloration	Coloration	5 unités ^{a)}	50 unités ^{a)}
Substances odorantes	Odeurs	acceptable	acceptable
Substances saporigènes	Saveurs	acceptable	acceptable
Matières en suspension	Turbidité, irritations gastro-intestinales possibles	5 unités ^{b)}	25 unités ^{b)}
Solides totaux	Saveurs, irritations gastro-intestinales	500 mg/l	1500 mg/l

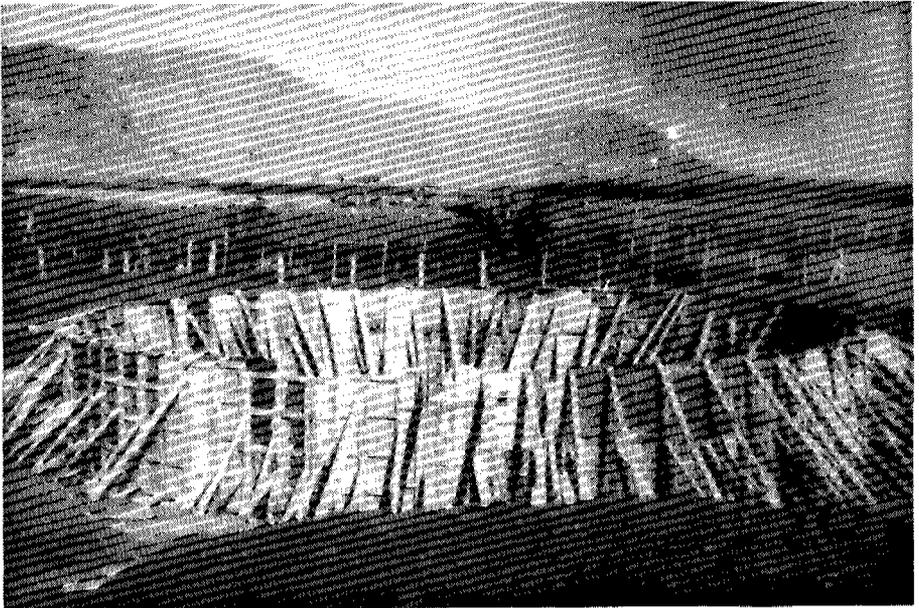
Substance ou caractéristique	Effet indésirable pouvant être produit	Teneur maximale admissible	Teneur excessive
Valeur de pH	Saveurs Corrosions	7,0 à 8,5	6,5 à 9,2
Détergents anioniques ^{c)}	Saveurs et mousse	0,2 mg/l	1,0 mg/l
Huile minérale	Saveur et odeur après chloration	0,01 mg/l	0,30 mg/l
Composés phénolés (en phénol)	Saveur, en particulier dans l'eau chlorée	0,001 mg/l	0,002 mg/l
Dureté totale	Formation excessive de tartre	2 méq ^{d) e)} (100 mg/l CaCO ₃)	10 méq/l (500 mg/l CaCO ₃)
Calcium (en Ca)	Formation excessive de tartre	75 mg/l	200 mg/l
Chlorures (en Cl)	Saveurs, corrosions dans les réseaux d'eau chaude	200 mg/l	600 mg/l
Cuivre (en Cu)	Saveur astringente; coloration et corrosion des tuyaux, accessoires et ustensiles	0,05 mg/l	1,5 mg/l
Fer (total en Fe)	Saveur, coloration; dépôts et développement de ferrobactéries; turbidité	0,1 mg/l	1,0 mg/l
Magnésium (en Mg)	Dureté, saveur, irritations gastro-intestinales en présence de sulfates	pas plus de 150 mg/l; 30 mg/l en présence de 250 mg/l de sulfates; si la teneur en sulfates est moindre, on peut tolérer jusqu'à 150 mg/l de magnésium	
Manganèse (en Mn)	Saveur; coloration; dépôts dans les tuyaux; turbidité	0,05 mg/l	0,5 mg/l

Substance ou caractéristique	Effet indésirable pouvant être produit	Teneur maximale admissible	Teneur excessive
Sulfates (en SO_4)	Irritations gastro-intestinales en présence de magnésium ou de sodium	200 mg/l	400 mg/l
Zinc (en Zn)	Saveur astringente; opalescence et dépôts ressemblant à du sable	5,0 mg/l	15 mg/l

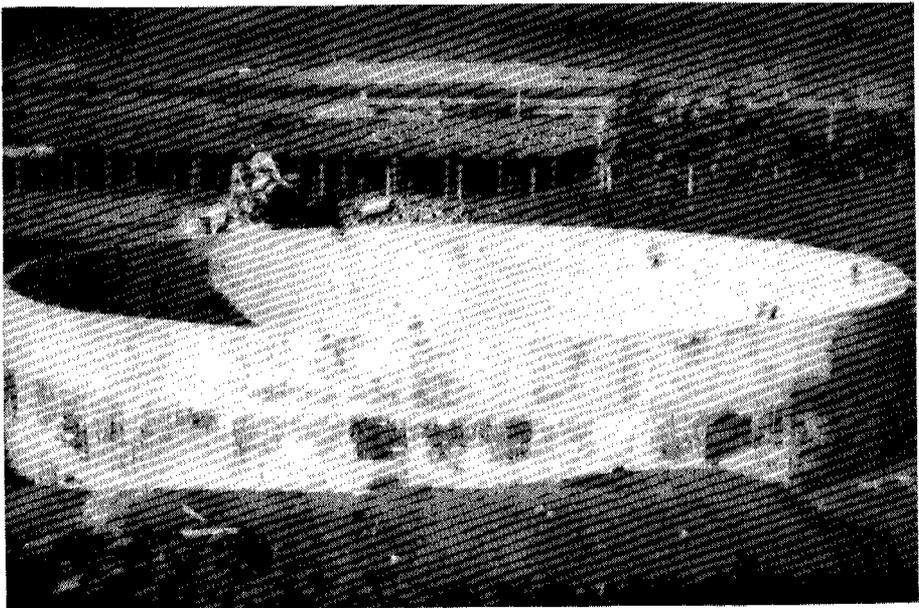
- a) Sur l'échelle de platine-cobalt.
- b) Unités de turbidité.
- c) Des substances de référence différentes sont utilisées dans divers pays.
- d) Si la dureté est nettement supérieure à ce chiffre, d'autres effets indésirables peuvent se produire; par exemple, dissolution de métaux lourds à partir des tuyauteries.
- e) 1 méq/l d'ion durcissant = $50 \text{ mg CaCO}_3/\text{l} = 5,0$ degrés hydrotimétriques français = 2,8 (environ) degrés allemands de dureté = 3,5 (environ) degrés anglais de dureté.

c) - Limites provisoires pour les substances toxiques dans l'eau

potable: <u>Elément</u>	<u>Teneur maximale admissible(mg/l)</u>
Arsenic (en As)	0,05
Cadmium (en Cd)	0,01
Cyanures (en CN)	0,05
Plomb (en Pb)	0,1
Mercure (total en Hg)	0,001
Sélénium (en Se)	0,001



Filtre circulaire en béton armé en cours de construction à Tamil Nadu (Inde).



Filtre terminé.

Annex 2.

Installations simples de prétraitement

Les filtres lents à sable ne fonctionnent pas correctement si l'eau brute possède une turbidité élevée. Si la turbidité moyenne journalière de l'eau brute est supérieure à 10 NTU, un prétraitement est à recommander.

Stockage.

Un bassin de stockage (voir Fig. A.2.1) peut répondre à un triple but: il peut améliorer la sécurité de l'alimentation en eau pendant les périodes de pénurie d'eau brute, il abaisse la turbidité par décantation, et enfin il améliore la qualité de l'eau, parce qu'une diminution considérable des germes pathogènes peut se produire par suite de l'activité d'algues, de protozoaires et autres organismes prédateurs, d'une part, et de l'action germicide des rayons ultraviolets de la lumière solaire, d'autre part.

On peut réaliser un bassin de stockage en construisant une simple digue en terre, jusqu'à une hauteur d'environ 6 m (éventail, 6 à 10 m). Il y a lieu de tenir compte de la retenue du limon déposé, qui peut atteindre 100 ml par litre d'eau brute dans les régions arides, ainsi que des pertes dues à l'évaporation et à l'infiltration. Le stockage net devrait être d'environ 2 mètres. L'évaporation peut s'élever jusqu'à environ 2 mètres par an, et des pertes de 15 à 25 mm/jour, par évaporation et infiltration, ne sont pas rares. Le temps de séjour sera de l'ordre de plusieurs semaines à quelques mois.

Les petits réservoirs de stockage peuvent être enduits d'un revêtement de sol stabilisé, de béton ou de maçonnerie, afin de diminuer l'infiltration. Le limon peut être éliminé par la source d'eau brute elle-même en période de débit de crue, ou par voie manuelle. Dans le premier cas, il y a lieu d'installer des drains, alors que

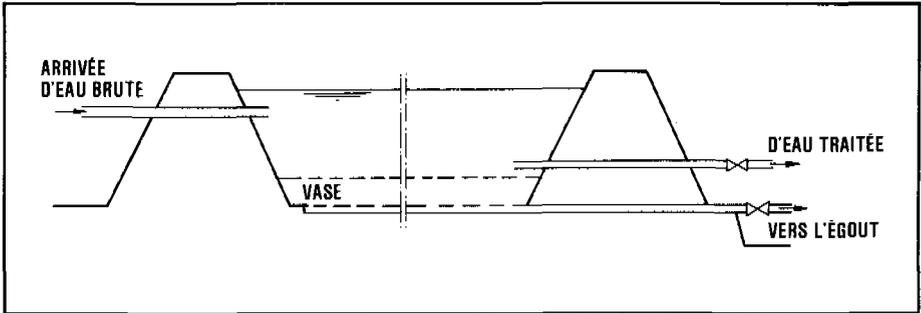


Fig. A.2.1.
Bassin de stockage.

dans le second cas, il faut prévoir des drain de radier afin d'améliorer l'évacuation de l'eau du limon. L'accès à un bassin de stockage doit être réduit au minimum, afin de limiter la pollution de l'eau du bassin. Les opérations courantes d'entretien des bassins de stockage devraient comprendre l'enlèvement de la végétation et des roseaux.

Décantation simple.

Un bassin de décantation simple (voir Fig. A.2.2) a essentiellement pour rôle d'abaisser la turbidité et d'éliminer les matières en suspension. Le temps de séjour (au maximum 2 jours) est court comparativement à celui d'un réservoir de stockage, mais il doit toutefois être suffisamment long pour permettre aux solides en suspension de décanter (particules plus denses que l'eau) ou de flotter (particules plus légères que l'eau). Le temps de séjour théorique devrait être basé sur des échantillons typiques de tous les régimes de la rivière. Un bassin de décantation peut fonctionner de façon intermittente ou continue. La structure la plus répandue d'un décanteur fonctionnant en continu consiste en un bassin rectangulaire réalisé en béton ou en maçonnerie, ou encore un bassin creusé avec parois obliques protégées.

L'arrivée d'eau brute est placée sur l'un des petits côtés du bassin, et la sortie, sur le petit côté opposé. Des ouvrages

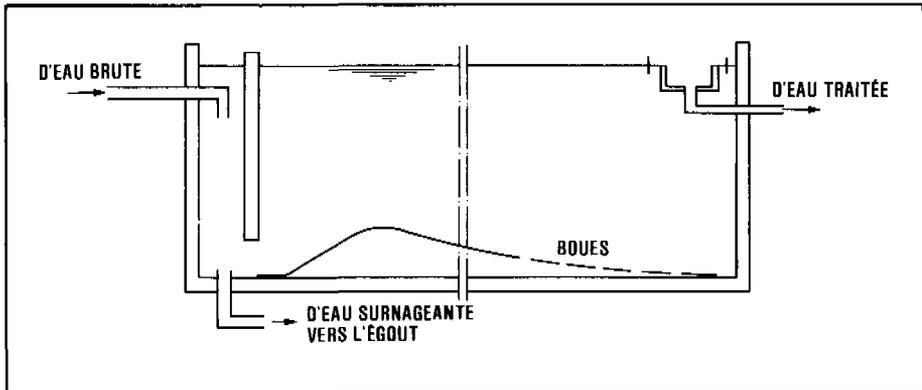


Fig. A.2.2.
Bassin de décantation simple.

d'entrée et de sortie (voir Fig. A.2.3) sont essentiels pour le bon fonctionnement du bassin. Le débit arrivant doit être réparti de manière aussi uniforme que possible sur toute la largeur du bassin, afin d'atténuer les courants et les courts-circuits. L'ouvrage de sortie se compose d'ordinaire d'un ou plusieurs déversoirs couvrant toute la largeur du bassin.

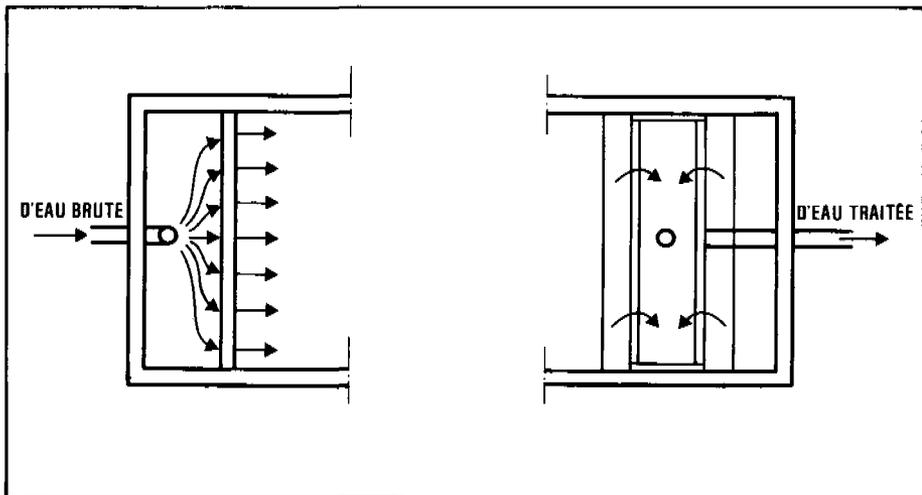
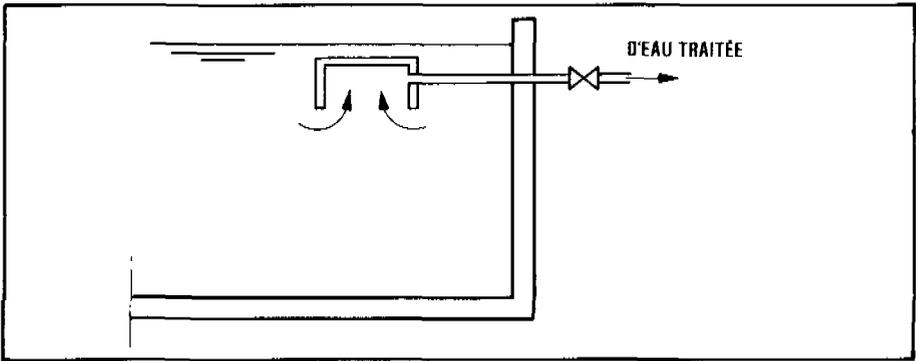


Fig. A.2.3.
Ouvrages d'entrée et de sortie dans un bassin de décantation simple

S'il existe une forte concentration d'algues à la surface de l'eau, la sortie peut être installée à une certaine distance sous la surface (voir Fig. A.2.4).



*Fig. A.2.4.
Ouvrage de sortie en position noyée.*

Le tableau A.2.1 récapitule des critères de calcul pour des décanteurs rectangulaires. On remarquera que les chiffres indiqués ne sont pas applicables universellement, mais peuvent servir d'évaluations empiriques.

*Tableau A.2.1.
Critères de calcul pour décanteurs rectangulaires.*

Paramètre	Symbole	Gamme de valeurs
Temps de séjour	V/Q	4 - 12 heures
Charge hydraulique	Q/A	2 - 10 mètres/jour
Hauteur du bassin	H	1,5 - 2,5 mètres
Débit du déversoir (sortie)	Q/R	3 - 10 m ³ /m.heure
Rapport longueur/largeur	L/W	4:1 à 6:1
Rapport longueur/hauteur	L/H	25:1 à 35:1, ou 5:1 à 20:1 pour petits bassins.

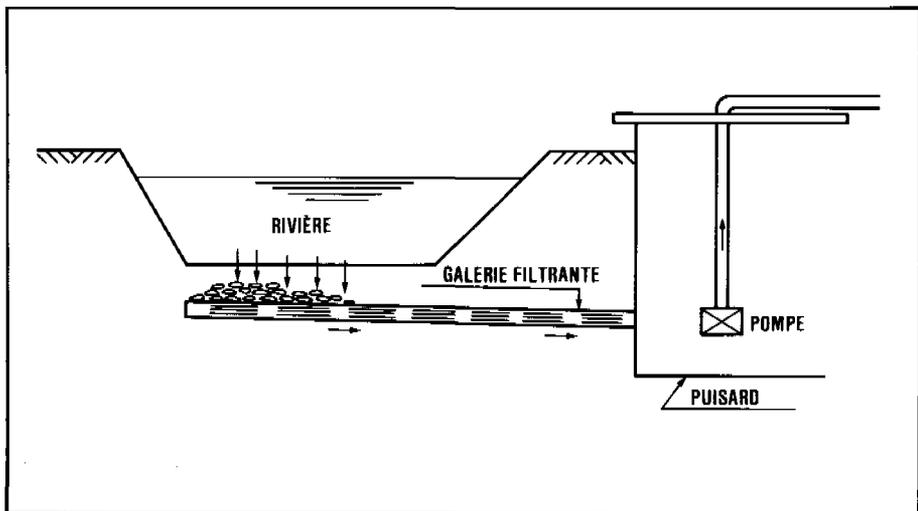
où: H = hauteur (mètres) V = volume de bassin: L x W x H (m³)
 L = longueur (mètres) Q = débit d'alimentation en eau brute (m³)
 W = largeur (mètres) A = surface du fond du bassin: L x W (m²)
 R = longueur totale du trop-plein au déversoir de sortie (mètres)

Pour ce qui est des méthodes de construction d'un bassin de décantation, le lecteur pourra se reporter aux Chapitres 4 et 5 de ce manuel. L'élimination des boues peut se faire soit par opération mécanique continue, soit par opération intermittente. Si l'opération doit s'effectuer manuellement, - ce qui est une méthode tout à fait convenable pour de petites alimentations en eau rurales, - le bassin doit être équipé de bondes de fond afin d'éliminer l'eau surnageante.

Les boues peuvent être évacuées au moyen de pelles et de bennes ou de brouettes. Si un bassin de décantation doit être mis régulièrement hors de service pour l'extraction des boues, il faut alors construire deux décanteurs, afin de permettre un fonctionnement continu de la station de traitement d'eau.

Filtration par le lit de la rivière.

On peut voir à la Fig. A.2.5 une disposition possible pour un prétraitement au moyen d'une filtration par le lit de la rivière.



*Fig. A.2.5.
Prétraitement par filtration par le lit de la rivière.*

Le degré de colmatage du lit de la rivière détermine le taux de réussite d'une telle filtration. Dans les installations de filtration par le lit de la rivière, on peut appliquer des vitesses de filtration de 5 à 10 m/h. La couche filtrante doit être constituée de divers lits de graviers et de gros sable. Le diamètre effectif des matériaux filtrants doit aller en décroissant depuis le fond jusqu'au haut du lit filtrant.

Filtration rapide de dégrossissage.

Le bassin filtrant, dans une installation de filtration rapide de dégrossissage, est similaire à celui d'un filtre lent à sable. La couche d'eau surnageante et le lit filtrant (fibres de noix de coco, par exemple) devraient avoir une épaisseur d'environ 1 mètre, et la vitesse de filtration devrait être d'environ 0,5 m/h (fourchette: 0,5 - 1 m/h). Pour nettoyer le lit filtrant d'un filtre dégrossisseur, il faut vidanger complètement l'eau de la cuve, puis enlever et jeter les fibres de noix de coco. Pour regarnir le filtre, il faut utiliser des fibres de noix de coco neuves, préalablement trempées dans de l'eau pendant 24 heures pour éliminer la matière organique (couleur). Des expériences de THANH et PESCOD (8) montrent que les filtres à fibres de noix de coco ont un comportement remarquablement constant et présentent une aptitude considérable pour absorber les charges périodiques de turbidité et produire un effluent relativement constant et satisfaisant pour une filtration lente sur sable ultérieure. L'élimination globale de turbidité varie entre 60 et 75%.

D'autres matériaux, tels que du gros gravier, peuvent aussi être utilisés pour la filtration de dégrossissage.

Préfiltration sur gros matériaux, à circulation horizontale.

La préfiltration à circulation horizontale peut être réalisée dans un bassin rectangulaire similaire à un bassin de décantation simple.

L'arrivée d'eau brute est placée à l'une des extrémités du bassin, et la sortie, à l'extrémité opposée. Dans le sens principal d'écoulement, l'eau traverse diverses couches de matériaux calibrés (avec succession matériaux gros - fins - gros). La hauteur verticale du lit filtrant peut être fixée à environ 1 m (fourchette 0,8 - 1,5 m), et des vitesses de filtration convenables sont de l'ordre de 0,4 - 1 m/h (écoulement horizontal).

La longueur totale du lit filtrant, parcourue par l'eau, peut varier entre 4 et 10 mètres. La Fig. A.2.6 donne une disposition typique pour une installation de préfiltration à circulation horizontale.

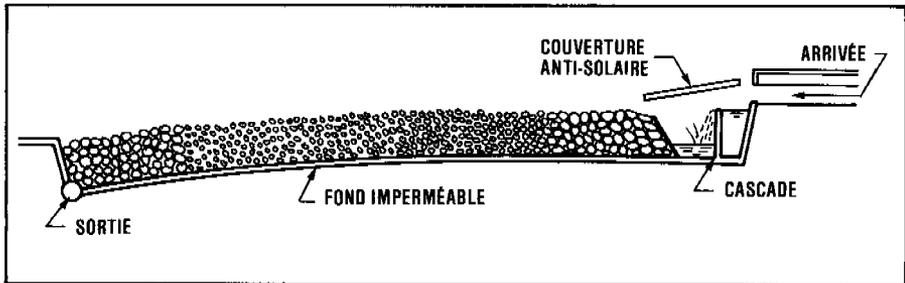
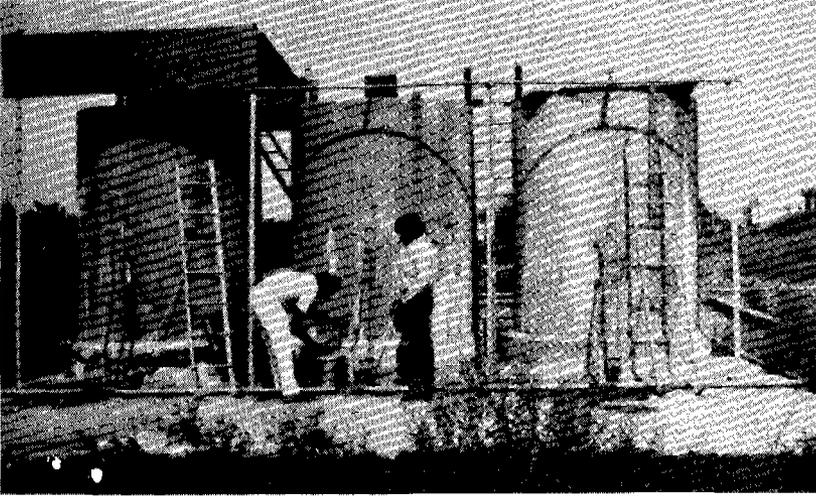


Fig. A.2.6.
Disposition typique d'une installation de pré-filtration à circulation horizontale.

THANH et OUANO (7) ont décrit des études à l'échelle du laboratoire et en station pilote. Les résultats expérimentaux montrent que ces installations de préfiltration, après une période de maturation de quelques semaines, sont tout à fait capables d'éliminer une partie des matières en suspension dans des eaux brutes ayant une turbidité pouvant atteindre 150 NTU. On arrive à une élimination de turbidité de 60 - 70%.



*Installation pilote de filtration lente sur sable à Nagpur (Inde).
(National Environmental Engineering Research Institute).*



*Installation pilote de filtration lente sur sable, Service des Eaux
d'Owabi (Ghana).
(Ghana Water and Sewerage Corporation, University of Science
and Technology, Kumasi).*

Annex 3.

Chloration de sécurité et désinfection

Introduction.

La désinfection a pour but de détruire les organismes pathogènes susceptibles de provoquer divers types de maladies d'origine hydrique (voir Chapitre 2). La chloration de sécurité constitue une mesure de précaution contre la pollution ultérieure d'une eau bactériologiquement saine (par exemple dans un réseau de distribution). Si l'on estime que les risques d'un tel incident sont pratiquement nuls, on peut décider de faire confiance aux propriétés désinfectantes du filtre lent à sable lui-même.

Pour les zones rurales dans les pays en développement, les réactifs chimiques convenant le mieux pour ces opérations sont le chlorure de chaux et les produits à haute teneur en hypochlorite, le choix étant déterminé essentiellement par les possibilités d'approvisionnement et les tarifs dans le pays ou la région particuliers concernés.

Ces réactifs se caractérisent par une certaine teneur en "chlore libre", qui est l'élément désinfectant actif.

Les désinfectants chimiques.

Le chlorure de chaux (parfois appelé hypochlorite de chaux) se compose de chaux, de chlorure de calcium et d'hypochlorite de calcium, et à l'état frais, il renferme entre 20 et 35% de chlore libre, c'est-à-dire 20 à 35 parties en poids de chlorure par 100 parties en poids de chlorure de chaux.

Le chlorure de chaux est d'une manipulation facile, bien qu'il soit volumineux et relativement instable. Si on le conserve dans

un récipient ouvert une fois par jour pendant 10 minutes, il perd environ 5% de son chlore libre initial en l'espace de 40 jours, mais si on laisse le récipient ouvert pendant toute cette même période, en tout temps, la perte peut atteindre jusqu'à 18%. Dans des solutions de chlore préparées à partir de chlorure de chaux et conservées dans un récipient à l'obscurité, la perte de chlore en l'espace de 10 jours n'est pas significative, mais pendant le même laps de temps, il se produit une perte considérable si la solution est exposée à la lumière. Le chlorure et la solution doivent l'un et l'autre être stockés dans un endroit sombre, frais et sec, dans un récipient fermé résistant à la corrosion. Des récipients en bois, en céramique, ou en matière plastique, conviennent aussi. La concentration de la solution ne devrait pas excéder 2,5%, car à une plus forte concentration, il peut se perdre une certaine quantité de chlore dans le sédiment. Comme le chlorure de chaux contient en excès de la chaux insoluble dans l'eau, un mélange aqueux va renfermer des solides en suspension. Lors de la préparation d'une solution, il est donc nécessaire de mélanger le produit et l'eau dans un bac, et, après avoir laissé décanter les solides en suspension, de siphonner le liquide clair surnageant dans un bac de stockage. Si les matières insolubles ne sont pas ainsi éliminées, elles vont très vite provoquer le colmatage des vannes de mesure et des tuyauteries d'alimentation. En mélangeant 2 kg de chlorure de chaux, contenant 25% de chlore libre, avec 20 litres d'eau, on obtient une solution de chlore à 2,5%.

Les produits à haute teneur en hypochlorite (HTH) contiennent 60 - 70% de chlore libre. Différentes marques se présentent sous une forme granulée; ces produits sont beaucoup plus stables que le chlorure de chaux et se dégradent beaucoup moins au stockage. Les produits HTH sont très solubles dans l'eau, et l'on peut préparer des solutions relativement limpides si la concentration de la solution est maintenue inférieure à 5%. La concentration de la solution doit de préférence se situer entre 2 et 4%. Si on mélange 0,84 kg de HTH à 60% de chlore libre avec 20 litres d'eau, on obtient une solution de chlore à 2,5%.

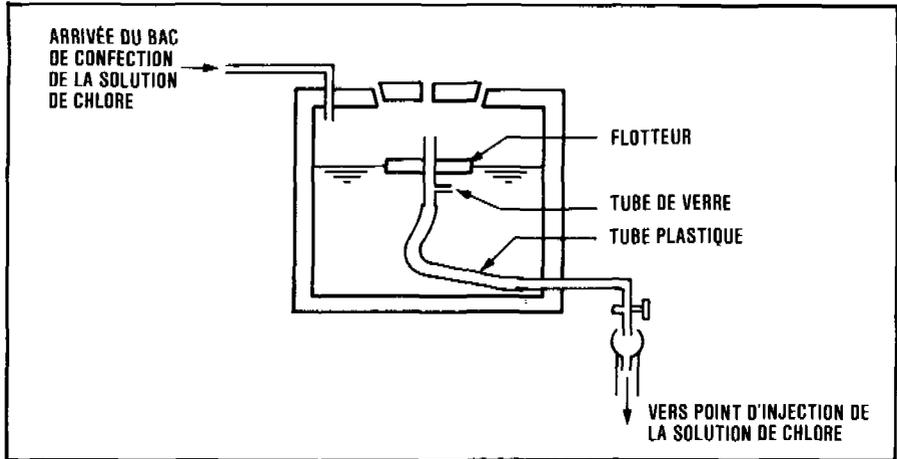
De la même manière que pour le chlorure de chaux, le produit HTH doit être stocké dans un endroit obscur, frais et sec, dans un récipient fermé résistant à la corrosion, sinon il peut se produire des incendies ou des explosions par suite de réactions chimiques exothermiques.

Appareils doseurs.

Il existe plusieurs méthodes de chloration par l'hypochlorite, basées essentiellement sur l'emploi de dispositifs non mécaniques pour répondre aux besoins de petites alimentations en eau. Les appareils dits "hypochlorateurs à solution" conviennent très bien pour les installations de traitement étudiées dans ce manuel.

Un bon exemple d'appareil de ce type est l'hypochlorateur à plate-forme flottante (voir Fig. A.3.1). Un tube de verre d'admission fixé sous un flotteur permet l'arrivée d'un débit constant de solution au point de dosage, puisque le niveau du liquide reste constant dans le réservoir.

Le compte-goutte, fixé au-dessous du robinet d'arrêt aide à garder ouverte la sortie des gouttes et empêche une obstruction par la formation de carbonate de calcium. Le dispositif est utile pour additionner à taux constant une solution de chlore à l'alimentation en eau. C'est particulièrement convenable en combinaison avec des filtres lents à sable qui eux-mêmes ont un écoulement d'effluent constant. Le réservoir doit contenir une solution de chlore suffisante pour un fonctionnement de 3 à 5 jours. Pour des installations de traitement plus importantes, plusieurs réservoirs peuvent être placés en position parallèle.

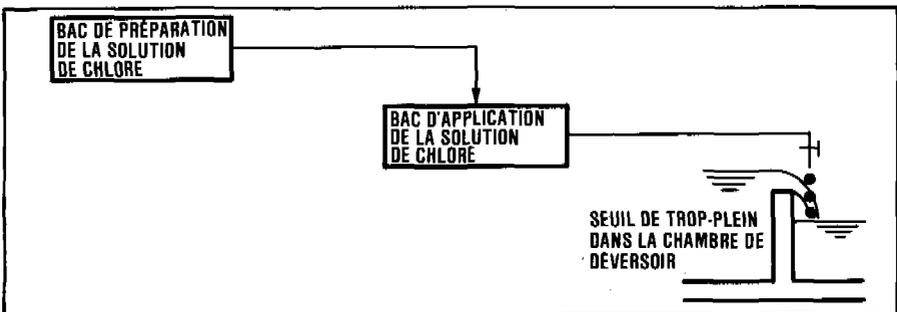


*Fig. A.3.1.
Hypochlorateur à plate-forme flottante.*

Procédé de désinfection.

Selon la qualité de l'eau à désinfecter, il faut ajouter de 0,5 à 2 mg de chlore libre par litre d'eau.

En vue d'une désinfection optimale, la solution d'hypochlorite devrait être mélangée à l'eau à traiter, de manière aussi rapide et complète que possible. Ce résultat peut être obtenu en plaçant le point d'injection de la solution de chlore juste après un seuil de trop-plein (voir Fig. A.3.2).



*Fig. A.3.2.
Installation de mélange du chlore.*

Comme le chlore est un oxydant, une partie du chlore appliqué va être consommée par d'autres constituants de l'eau. Il faut donc introduire du chlore en quantité suffisante pour la réaction avec ces constituants et avec les organismes pathogènes. Le chlore demande un certain temps pour agir sur ces constituants et sur les micro-organismes; cette période est appelée "temps de contact".

L'efficacité du processus de désinfection s'exprime donc par la teneur en chlore (chlore résiduel) qui subsiste au bout d'un temps de contact déterminé.

On préconise généralement une teneur en chlore résiduel de 0,5 mg/l après 30 minutes de contact pour les alimentations en eau rurales (12). Si, par exemple, il faut ajouter 2 mg de chlore libre par litre d'eau pour obtenir une teneur en chlore résiduel de 0,5 mg/l, et si l'on utilise du chlorure de chaux ou une solution de HTH à la concentration de 2,5%, il faudra donc 80 ml de cette solution d'hypochlorite par 1000 litres d'eau.

Vertical line on the left side of the page.

Annex 4.

Etudes de sol

Une bonne connaissance de la composition et des caractéristiques des sols est d'importance primordiale pour l'auteur de projet, car dans toute construction, quelle qu'en soit la conception et quels que soient les matériaux utilisés, le poids de l'ouvrage et sa charge vont, en dernière analyse, se transmettre au sol naturel.

Le comportement des sols naturels est très complexe, et même des expériences très poussées de laboratoire ne sauraient fournir de renseignements complets sur la réaction du sol à la charge de l'ouvrage proposé. Ceci nécessite évidemment un important facteur de sécurité dans l'étude. En outre, dans le cadre d'une adduction d'eau rurale, seuls de simples tests, pouvant être réalisés à peu de frais, se justifient, ce qui nécessite une étude encore plus conservative.

Les études sur le site, en vue d'une station de traitement, comprennent généralement les postes suivants:

1. Collecte et examen de tous les renseignements existants sur l'état géologique et le sous-sol de la région concernée. On peut se procurer de tels renseignements près d'organismes gouvernementaux qui tiennent des archives géologiques, ainsi qu'auprès d'établissements ou de personnes, - entrepreneurs locaux par exemple, - qui ont eu à participer à la prospection du sous-sol dans la région et ont une certaine expérience. Un examen visuel d'immeubles situés au voisinage de la station peut également s'avérer utile (fissures dans les murs et tassements, indiquant la présence de couches de terrain à haute compressibilité).
2. Forage d'exploration.

Outre les renseignements indiqués au paragraphe 1, il peut être nécessaire de réaliser des forages, au moyen desquels on pourra

prélever des échantillons du sous-sol en vue de l'examen direct.

On exécute couramment des forages de faible profondeur, jusqu'à 5 m environ, au moyen de tarières. Nous n'étudierons pas ici les forages plus profonds, pour lesquels on peut utiliser des foreuses à boue et des foreuses rotatives.

Les tarières à main sont faciles à confectionner et sont d'un maniement facile, en particulier si l'on fore dans le sable et l'argile. Des formations plus dures, comme la latérite ou la calcite, nécessitent l'emploi d'un trépied. Afin d'augmenter la pression, un certain nombre de personnes peuvent s'asseoir sur la poignée transversale, tandis que deux ouvriers font tourner le trépan.

Les forages creusés dans des sols non cohérents, et ceux pratiqués au-dessous de la nappe phréatique, demandent un tubage, afin d'éviter l'effondrement du forage. Dans des terrains cohérents, des échantillons du sous-sol peuvent être prélevés sur le contenu de la cuiller, et, dans les terrains non cohérents, au moyen de godets ou de cuillers spéciales à carottes.

Une caractéristique très importante d'un sol est sa résistance à la pénétration du trépan. Pour mesurer le degré de compacité des sols, on a mis au point un test normalisé de pénétration. Ce test consiste à compter le nombre de chocs d'un poids normalisé, sous une hauteur de chute donnée, nécessaire pour faire pénétrer à une profondeur de 0,3 m dans le sol une cuiller normalisée de prélèvement. Ce test normalisé de pénétration fournit une indication de la densité relative du sol et de sa capacité portante. D'après les échantillons, prélevés à des intervalles réguliers et recueillis dans une boîte à échantillons, on peut obtenir des renseignements sur les propriétés physiques et la composition du sol. Nous indiquons ci-dessous un certain nombre d'essais utiles pour faire une discrimination entre différents types de sols.

a) - Granulométrie et criblage.

Les fractions grosses et très grosses des sols sont constituées par des particules de plus de 0,06 mm environ, et qui peuvent encore être examinées à l'oeil nu. On a coutume de désigner la fraction de 0,06 - 2 mm sous le nom de "sable", et celle de 2 - 300 mm, sous l'appellation de "gravier". Des morceaux encore plus gros sont appelés "blocs". La classification des fractions les plus grosses peut être déterminée par une analyse aux tamis, mais avec une certaine expérience, on peut dire si elles sont "bien classées" ou "mal classées".

Les particules de moins de 0,06 mm ne peuvent pas être étudiées à l'oeil nu, mais on peut les isoler des fractions plus grosses par lavage à l'eau. Les fractions plus fines sont entraînées, et il reste les fractions grossières.

La fraction de 0,06 - 0,002 mm est en général appelée "limon", tandis que les fractions encore plus fines sont appelées "argile". Ces particules ne peuvent être examinées qu'au microscope, mais on peut réaliser un test simple de discrimination en malaxant une boulette de sol sous l'eau. Une boulette de limon va se désagréger, tandis qu'une boulette d'argile conserve sa consistance.

b) - Dilatabilité.

Le test d'agitation fournit des renseignements sur l'expansibilité du sol. Une galette de terre est secouée dans la paume de la main, et on note l'aspect de sa surface.

Si la surface paraît brillante, les résultats sont dits "évidents" ou "faibles", selon l'intensité des phénomènes observés. On a ainsi une possibilité supplémentaire pour faire la distinction entre argile et limon. Le limon, contrairement à l'argile, a une réaction positive.

c) - Consistance.

Selon le degré de cohésion entre les particules et la résistance, on dit qu'un sol est "dur", "résistant", "plastique" et "mou".

Ces termes correspondent à certaines valeurs de résistance libre à la compression, la charge par unité de surface à laquelle des échantillons cylindriques libres se désagrègent dans un test simple de compression.

On peut en outre déterminer le niveau de la nappe phréatique d'après la teneur en eau des échantillons, tandis qu'on peut la mesurer à l'aide d'un câble lorsque le tubage est en place.

3. Sondages et autres tests sur le site.

Les sondages fournissent des renseignements sur la résistance du sol à la pénétration. On peut y recourir pour s'assurer que le sous-sol ne comporte pas de zones tendres entre les forages, et pour étudier la densité relative des couches non cohérentes. L'une des techniques les plus largement utilisées pour mesurer la résistance à la pénétration est le test normalisé de pénétration, mentionné plus haut. Alors que le test de pénétration fournit uniquement une valeur de résistance par mètre environ, de nombreux autres types de sondages souterrains donnent des diagrammes de pénétration continus.

Sous sa forme la plus simple, un sondage consiste à enfoncer une tige, un tube ou un rail de chemin de fer dans le sol, à l'aide d'un poids qu'on fait tomber. Des graphiques de pénétration pour chaque choc peuvent fournir des renseignements très utiles, en combinaison notamment avec quelques forages d'exploration. Outre ces méthodes de sondage dites "dynamiques", il existe également des procédés "statiques" de sondage.

Ces derniers consistent à employer un cône normalisé, enfoncé dans le sol à un taux normalisé, par énergie manuelle ou mécanique. La pression exercée sur la tige est enregistrée par un manomètre Bourdon.

Vertical line on the left side of the page.

Annex 5.

Matériaux de construction

Les matériaux de construction les plus couramment utilisés, pour les stations de filtration lente sur sable, sont le béton en masse, le béton armé, la maçonnerie et le ciment armé.

La qualité et les caractéristiques de ces matériaux de construction varient d'un endroit à l'autre et dans le temps, selon des facteurs comme la nature et la qualité des matières premières, les conditions de climat, et les soins apportés à la manutention, au traitement et à la finition des matériaux. Nous allons, dans cette Annexe, étudier quelques aspects de ces matériaux de construction.

Le Béton.

Le béton se compose d'un mélange de sable, de gravier, de ciment et d'eau. Il est important de veiller à ce que tous les constituants du béton soient testés. Il existe, à cet effet, des méthodes d'essais normalisées sur le plan international. Il n'est pas besoin que les essais soient effectués sur le chantier même de construction; des échantillons peuvent être prélevés sur place et étudiés dans un laboratoire.

La qualité du ciment est d'ordinaire connue localement, et il n'est donc pas nécessairement utile d'en faire l'essai. Il faut veiller à ce que le ciment ne soit pas stocké pendant une trop longue période, et qu'il soit conservé dans un endroit sec.

Le sable et le gravier doivent être testés pour leur teneur en matière organique (test d'ABRAM-HARDER ou test à l'acide fulvique). Il faut, de plus, que la granulométrie du sable et du gravier remplisse certaines conditions (qui diffèrent localement):

L'eau à utiliser doit être propre, fraîche et limpide. La

proportion d'ingrédients, dans le mélange de béton, dépend des caractéristiques des ingrédients, mais un mélange de 1 litre de ciment pour 2 litres de sable et 3 litres de gravier donne en général de bons résultats.

A ce mélange, il faut ajouter environ 120 à 160 litres d'eau par m³ de béton ($\frac{1}{3}$ de litre d'eau pour 1 litre de ciment).

Pour garantir l'étanchéité du béton, il est important de prendre les mesures suivantes:

1. Veiller à la granulométrie, et notamment à la teneur en matériaux fins. La teneur en "fins" est constituée par le ciment et la fraction de particules de sable inférieures à 0,3 mm. Voici les teneurs recommandées en "fins":

*Tableau A.5.1.
Teneurs recommandées pour les 'fins' dans le béton.*

	Diamètre du grain le plus gros (mm)	Teneur en "fins" (kg/m ³)
"Béton normal"	10	500 - 550
	20	425 - 475
	30	375 - 425
"Béton à gros agrégat"	50	300 - 350
	80	250 - 300

2. Le rapport eau-ciment, c'est-à-dire le rapport entre le poids d'eau utilisé et le poids de ciment utilisé, doit être maintenu aussi faible que possible. Un chiffre de 0,5 est en général satisfaisant. Il est conseillé d'abaisser la teneur en eau jusqu'au chiffre minimum permettant le gâchage.
3. Employer aussi peu de ciment que possible. Il peut être recom-

mandé d'augmenter le diamètre des plus grosses particules de gravier, jusqu'à concurrence de 50 mm par exemple (au lieu de 30 mm comme d'ordinaire), ce qui permet de diminuer la teneur en ciment.

4. Apporter le soin voulu à la finition du béton. Il est important de maintenir humides le coffrage et la surface du béton coulé (en arrosant avec de l'eau dont la température n'excède pas 20-25° C), et d'éviter les hautes températures et une forte évaporation. Ceci peut se faire en installant une couverture provisoire.

Pour ce qui est de l'armature en acier du béton, il est indispensable d'avoir des renseignements sur la qualité de l'acier que l'on peut se procurer localement. On trouvera à l'Annexe 8 quelques indications sur divers modes d'armature.

Ciment armé

Le ciment armé consiste en un mélange de sable et ciment fortement armé (pourcentage d'armature 0,9 - 2,1 en poids). L'armature est formée de tiges de faible diamètre (\emptyset 5 - 6 mm) disposées verticalement et horizontalement, et enrobées dans un treillis métallique.

Le ciment armé convient particulièrement pour les éléments incurvés de construction (14).

On peut l'employer pour des filtres lents à sable circulaires, parce qu'il ne se produit pas de moments fléchissants et que de légères déformations sont acceptables.

Les caractéristiques favorables du ciment armé sont sa simplicité en construction et sa durabilité. Le processus de construction demande beaucoup de main-d'oeuvre, ce qui ne cause pas obligatoirement de graves problèmes.

Il y a deux manières de construire un filtre lent à sable:

1. Emploi d'un chassis intégré,
2. Emploi d'un coffrage intérieur ou extérieur.

Cette dernière possibilité semble la plus intéressante.

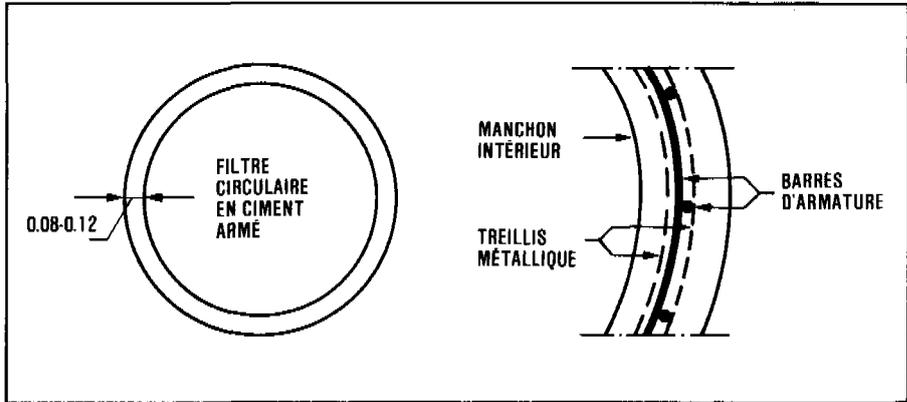


Fig. A.5.1.
Paroi en ciment armé.

La Fig. A.5.1 illustre la construction avec moule intérieur. L'armature est formée de barres d'acier de 5 ou 6 mm disposées verticalement et horizontalement, à intervalles de 50 à 120 mm. Pour le treillis, une toile métallique avec largeur de maille de 20 mm convient fort bien.

Le processus de construction est le suivant: partant de l'extérieur, le mortier est étalé sur l'armature, à la truelle, jusqu'au moule intérieur. La paroi a d'ordinaire une épaisseur de 60 à 120 mm. La composition du mortier est de 1 partie de ciment et 2 parties de sable. Il ne faut pas que le sable soit trop gros. Une partie du ciment (10% par exemple) peut être remplacée par de la pouzzolane, si l'on peut s'en procurer, afin d'éviter une trop forte absorption d'eau.

Afin de protéger l'ouvrage contre les intempéries et d'obtenir un haut degré d'étanchéité, on peut le terminer avec un enduit de goudron et résine époxy ou de caoutchouc naturel.

Maçonnerie.

Afin d'obtenir un ouvrage étanche, il faut que la maçonnerie et le mortier soient de haute qualité. L'épaisseur de paroi doit être de l'ordre de 0,30 - 0,40 m pour des filtres circulaires d'un diamètre de 5 - 10 m environ. Voici des points importants pour la confection du liant pour la paroi :

1. Les joints verticaux ne doivent jamais être placés l'un au-dessus de l'autre.
2. Les joints verticaux doivent, si possible, couvrir toute la largeur de la paroi.
3. Les briques ne doivent pas être brisées en morceaux inférieurs à la moitié de la dimension normalisée qu'on peut se procurer localement.

Les mortiers pour la maçonnerie doivent se composer de ciment ou chaux, de sable et d'eaux.

Un mélange de 1 partie de ciment et 2 - 2,5 parties de sable doit convenir. Si les briques sont de qualité inférieure, il faut alors diminuer également la qualité du mortier (par exemple jusqu'à 1 : 4,5) pour éviter l'apparition de retraits différentiels entre les briques et le mortier. Il ne faut pas oublier toutefois que cette manière de procéder donne une construction moins rigide, et certainement moins étanche.

Annex 6.

Dispositifs de mesure de débit

Dans les installations de filtration lente sur sable, il est nécessaire de mesurer le débit qui traverse les filtres, afin d'ajuster la vitesse de filtration à une valeur fixée préalablement.

Les mesures de débit peuvent être réalisées, dans des tuyauteries fermées, au moyen de compteurs Venturi ou autres dispositifs, mais on les exécute au mieux en canaux découverts, à l'aide de déversoirs de mesure. Les déversoirs offrent un moyen sûr et simple pour mesurer l'écoulement. Ils sont basés sur le principe suivant: dans un chenal découvert, l'écoulement sur un déversoir est proportionnel à la hauteur de la lame d'eau au-dessus de la crête du seuil. A la fig. A.6.1, on trouvera quelques types possibles de seuils, ainsi que leurs équations de débit.

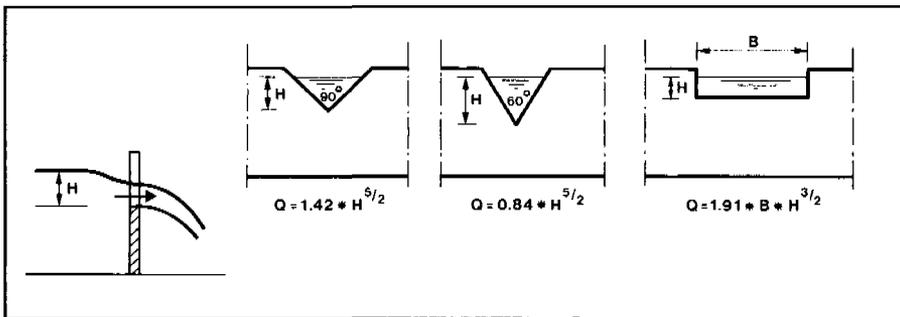


Fig. A.6.1.
Déversoirs et équations de débit.

La Fig. A.6.2 donne une représentation graphique de la relation entre débit et hauteur d'eau pour des seuils rectangulaires, des seuils triangulaires à 90° et des seuils triangulaires à 60° . Une fois connu le niveau de l'eau au-dessus du point le plus bas du déversoir, on peut déterminer très simplement le débit en se basant sur cette figure.

Les déversoirs peuvent être réalisés en bois, mais un ouvrage en béton avec une plaque d'acier donnera des mesures plus précises. Un seuil à 90° convient fort bien pour des mesures exactes à de faibles débits. Le niveau de l'eau au-dessus de la crête du seuil doit être mesuré à environ 0,3 m en arrière de la crête (voir schémas typiques).

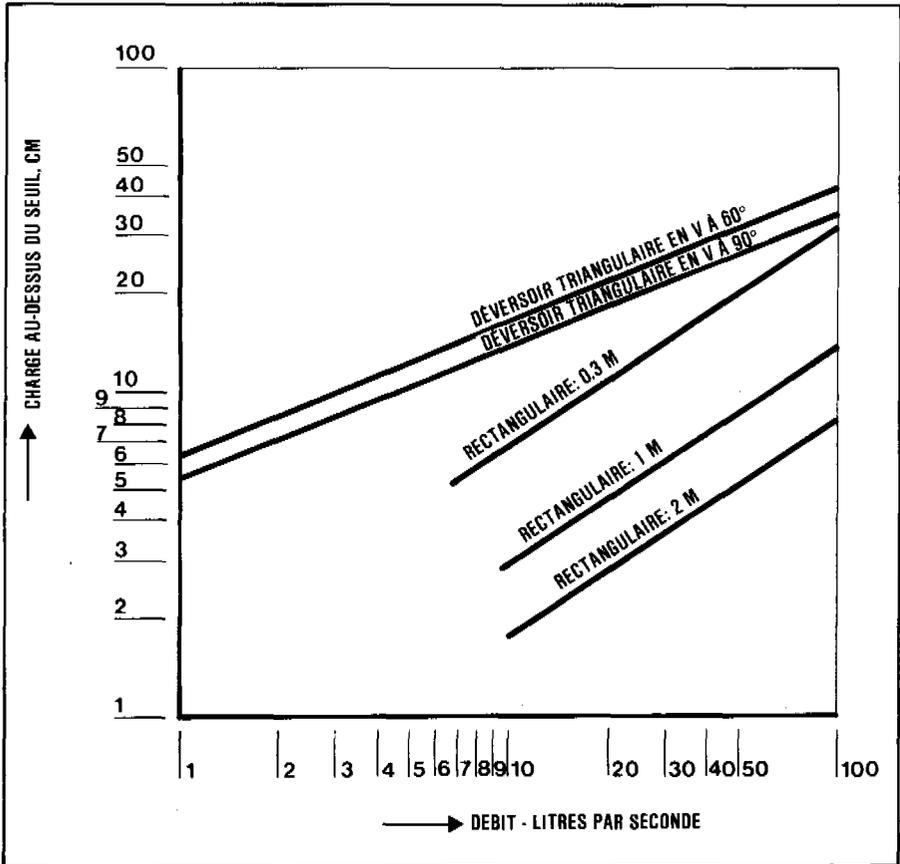


Fig. A.6.2.
Diagrammes de débit pour trois types de seuils.

Le débit de déversoirs flottants, étudié au paragraphe 5.4, est fonction du diamètre de la conduite de sortie et de la distance entre le niveau de l'eau et le point le plus élevé de la conduite de sortie. Cette distance doit être réglée en fonction du débit désiré.

La Fig. A.6.3 donne une indication de l'écoulement par déversoirs flottants pour divers diamètres des tuyauteries et différentes valeurs de "d".

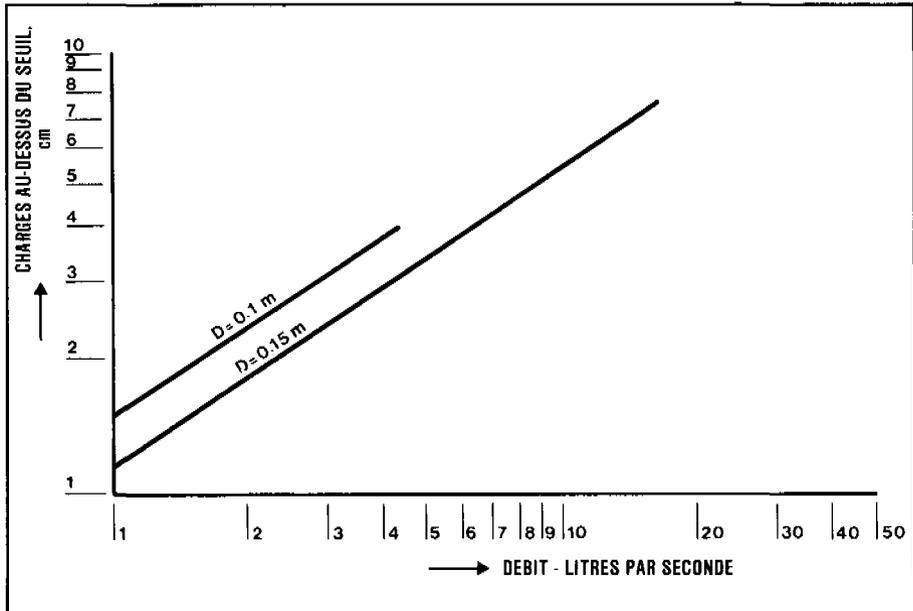
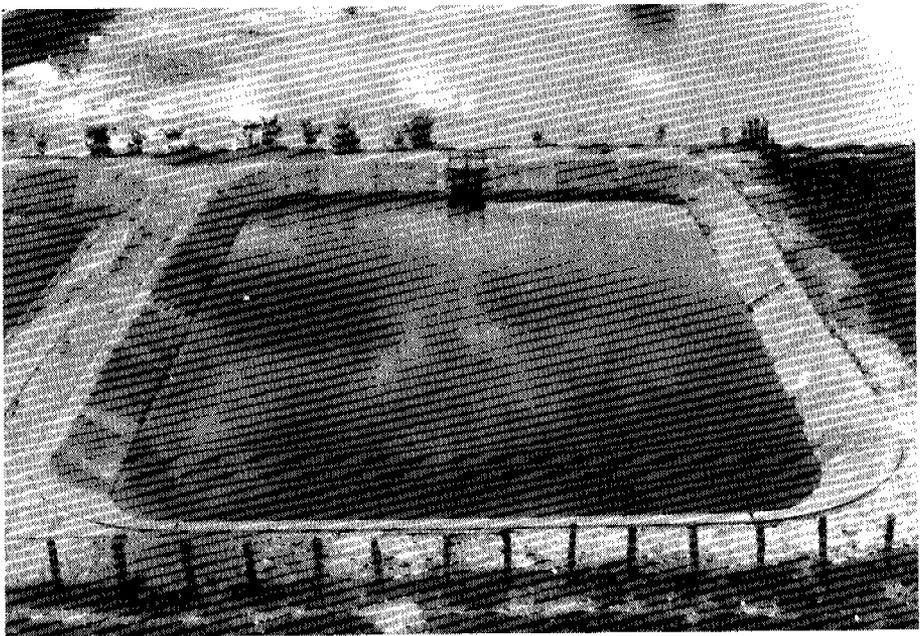


Fig. A.6.3.
Débits de déversoirs flottants.

Il ne faut pas oublier que la précision des mesures de débit est toujours limitée, et qu'un étalonnage régulier du seuil de mesure (par exemple au moyen de capacités et d'un chronomètre) est à conseiller.



Ouvrage d'entrée d'un filtre lent à sable, à Kranuan (Thaïlande).

Annex 7.

Analyse de la qualité de l'eau

Dans le cas d'une alimentation en eau domestique, il est nécessaire de pratiquer, régulièrement ou périodiquement, des tests de qualité de l'eau, en vue des buts suivants:

- choix d'une source d'eau
- examen et contrôle de la source d'eau ou du rendement d'un système de traitement de l'eau.

Généralités.

Les tests de qualité de l'eau peuvent comprendre des analyses complètes des constituants physiques, bactériologiques et chimiques d'un échantillon d'eau, ou un simple examen de quelques paramètres de qualité spécialement importants (voir également Annexe 1). Des analyses d'eau complètes demandent des techniciens de laboratoire bien entraînés et habiles, disposant d'un équipement de laboratoire suffisant et de produits chimiques adéquats. De telles analyses doivent donc être effectuées de préférence dans un laboratoire des services régionaux. Si l'on choisit une eau de rivière comme source d'alimentation pour une installation de filtration lente sur sable, il y a lieu de rassembler, au cours du stade d'étude du projet, des renseignements sur les variations de la qualité de l'eau de la rivière pour une année hydrologique[■] complète. Autrement dit, il faut disposer de renseignements suffisants sur la qualité de l'eau de la rivière, aussi bien en saison sèche qu'en saison humide. La turbidité de l'eau brute est un paramètre d'importance critique pour une installation de filtration lente sur sable, et il y a lieu d'accorder une valeur toute particulière à ce paramètre dans les premiers temps de la saison des pluies, où l'eau de ruissellement risque d'entraîner des débris et des sédiments provenant du bassin versant, et où le lit même de la rivière est "nettoyé" par le débit rapidement croissant. Les Services hydrologiques peuvent fournir les indications nécessaires; sinon, il

y a lieu de prélever des échantillons pour les tests et analyses, et de les transmettre à un laboratoire convenablement équipé. Pour ces échantillons, il faut employer des flacons propres en verre ou en matière plastique, fermés par un bouchon en caoutchouc ou en plastique. Le flacon doit être lavé au moins trois fois avec une petite quantité de l'eau à prélever, puis rempli et étiqueté immédiatement avec indication de l'heure, de la date et du lieu. Le flacon doit être immergé en un endroit situé à peu de distance de la rive: il faut avoir soin d'éviter les gros débris flottants et la boue déplacée du fond, et les empêcher de pénétrer dans le flacon. Des échantillons ainsi prélevés conviennent pour l'analyse physique et chimique, mais non pour les examens bactériologiques. Les échantillons doivent être d'au moins 2 litres, et être envoyés sans retard à l'analyse.

Si les résultats concernant la composition physique et chimique des échantillons montrent que la source d'eau est à même de fournir une eau, convenable pour la consommation humaine, au moyen d'une filtration lente sur sable (avec ou sans prétraitement), des examens plus poussés ne sont nécessaires par la suite que de façon périodique (par exemple une fois tous les 1 à 3 mois). Ils servent alors à vérifier si la source d'eau reste acceptable et si l'installation de filtration lente sur sable fonctionne correctement, et produit une eau convenant à la consommation humaine.

Examen bactériologique.

L'un des paramètres qui exigent un examen plus régulier (une fois par semaine, ou au moins une fois par mois) est la qualité bactériologique de l'eau brute et de l'eau traitée. La qualité bactériologique de l'eau est une grosse préoccupation, par suite du risque d'épidémies d'origine hydrique (voir Chapitre 2). Des tests de ce genre doivent être exécutés sur le site même de la station de traitement, car tout retard dans l'analyse d'un échantillon mène à des résultats inexacts, par suite de l'activité biologique qui se poursuit dans le flacon de prélèvement.

L'une des limites d'emploi des diverses méthodes de tests

bactériologiques est le laps de temps nécessaire pour obtenir les résultats.

Le test de fermentation en tubes multiples, pour les germes coliformes, demande 48 à 96 heures entre la prise d'échantillon et les résultats; le filtre à membrane demande 18 à 22 heures. De plus, les tests bactériologiques exigent des techniciens de laboratoire expérimentés et un équipement dont bien souvent on ne dispose pas. Ces tests sont en outre assez coûteux.

Une méthode convenable de test bactériologique, pour les pays en développement, est la technique de filtration sur membrane. Les membranes filtrantes employées en bactériologie des eaux sont des disques en matière plastique plats, poreux, souples, d'environ 0,15 mm d'épaisseur et habituellement de 47-50 mm de diamètre. Le diamètre des pores est contrôlé rigoureusement; pour la bactériologie de l'eau, le diamètre des pores est d'ordinaire de 0,5 micromètre. On filtre un échantillon d'eau à travers la membrane, puis celle-ci est placée sur un milieu gélosé de culture, ou sur un tampon de papier imprégné d'un milieu de culture humide: la préparation est mise à incuber pendant un laps de temps spécifié, dans des conditions déterminées de température et d'humidité. La culture bactérienne obtenue est ensuite examinée et interprétée.

Comme une étude plus détaillée des diverses méthodes de tests bactériologiques dépasserait le cadre de ce manuel, le lecteur pourra se référer à "Surveillance de la qualité de l'eau de boisson" (13) et autres publications (23, 24).

Équipement pour l'emploi sur le terrain.

Dans ces dernières années, il a été mis dans le commerce des trousseaux pour emploi sur le terrain, qui permettent à des techniciens de laboratoire entraînés d'effectuer des tests en divers endroits au cours de déplacements.

Par exemple, la Hach Chemical Company (21) a mis au point

plusieurs trousses pour l'emploi sur le terrain, et comprenant des instruments et des réactifs chimiques en vue de déterminer la plupart des paramètres de qualité mentionnés à l'Annexe 1, alinéa b. Certaines trousses Hach sont équipées pour l'examen de 10 à 20 paramètres, alors que d'autres ont été mises au point spécialement pour l'examen d'un paramètre spécifique. Millipore (22) a réalisé une trousse portative, très commode, en vue d'études bactériologiques. Cette trousse est basée sur la technique de filtration sur membrane décrite ci-dessus.

Certains tests simples, susceptibles de fournir bien des renseignements utiles, peuvent être exécutés par l'opérateur de la station de filtration lente sur sable, comme par exemple l'examen d'un échantillon d'eau brute prélevé dans une éprouvette. On peut noter la turbidité et la mesurer par rapport à d'autres échantillons ou à des étalons préparés. L'utilité d'une décantation peut être observée, ainsi que la nature des matières en suspension, qu'elles soient d'origine animale, végétale ou minérale. Si, dans une station de traitement, une désinfection est réalisée au moyen de composés chlorés, l'opérateur de la station peut également pratiquer des tests pour le chlore résiduel. Dans des stations plus importantes on peut envisager un entraînement élémentaire de laboratoire pour les opérateurs, afin de les mettre en mesure d'effectuer sur le terrain quelques tests au moyen des trousses mentionnées ci-dessus.

Annex 8.

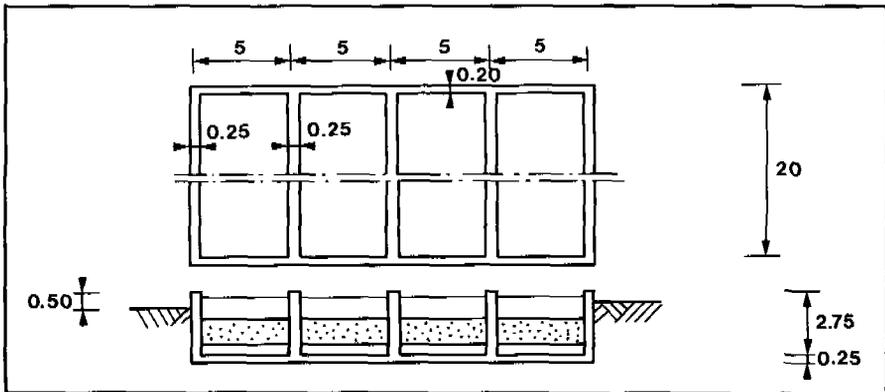
Calculs structurels pour un bassin filtrant en béton armé

Pour la commodité du lecteur, nous donnons ci-dessous quelques indications sur les calculs structurels d'un bassin filtrant en béton armé. On peut trouver des renseignements plus complets sur ce sujet dans les manuels signalés dans la bibliographie.

Renseignements:

1. Résistance du béton à la compression[®] 17,5 N/mm²
2. Résistance de l'acier à la traction[®] 220 N/mm²
3. Niveau du sol: 0,50 m au-dessous du niveau supérieur du filtre
4. Niveau de la nappe: 0,70 m au-dessous du niveau supérieur du filtre
5. Poids spécifique du sol naturel: 1,9
6. Poids spécifique du béton: 2,4
7. Poids spécifique du sable et du gravier: 1,6.

Diagramme:



Calcul du fond du filtre:

On doit vérifier le soulèvement de l'ouvrage par la pression de l'eau:

1. Poids de l'ouvrage (longueur x hauteur x épaisseur x pesanteur)

$$\text{Parois: } 2 \times 20 \times 2,75 \times 0,2 \times 24 = 528 \text{ kN}$$

$$5 \times 20 \times 2,75 \times 0,25 \times 24 = 1650 \text{ kN}$$

$$\text{Fond: } 20 \times 20 \times 0,25 \times 24 = \underline{2400 \text{ kN}}$$

$$4578 \text{ kN}$$

2. Pression d'eau (charge d'eau x longueur x largeur x pesanteur)

$$2,3 \times 20 \times 20 \times 10 = 9200 \text{ kN}$$

Il ressort des calculs que si le bassin filtrant est vide, il va se produire une poussée ascensionnelle. Par contre, s'il reste dans le filtre le gravier et une partie du sable, leur poids peut être ajouté à celui de l'ouvrage.

(longueur x largeur x hauteur x pesanteur)

$$\text{Poids du gravier } 20 \times 20 \times 0,5 \times 16 = 3200 \text{ kN}$$

$$\text{Poids du sable } 20 \times 20 \times 0,6 \times 16 = 3840 \text{ kN}$$

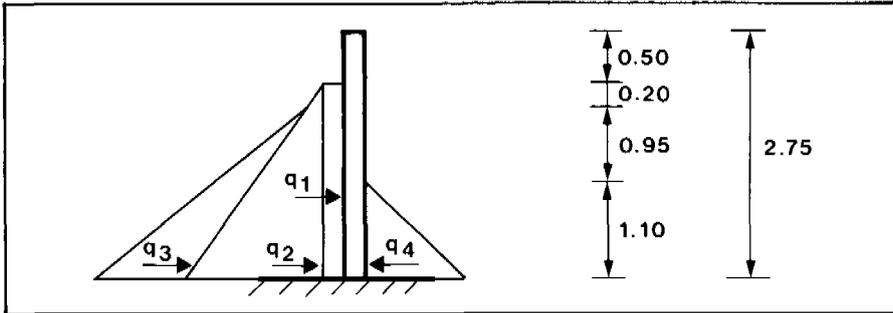
Comme le poids total de l'ouvrage et du lit filtrant est supérieur à 1,15 (facteur de sécurité) fois la pression de l'eau, il n'y a pas à craindre de soulèvement (au cours de la construction, il faudra bien entendu assurer l'assèchement de la fouille).

Comme il ne se produit pas de moments fléchissants importants dans le fond du filtre, une armature minimum de $\emptyset 10 - 200$ sera suffisante.

Calcul des parois du filtre.

- Grand côté:

Diagramme:

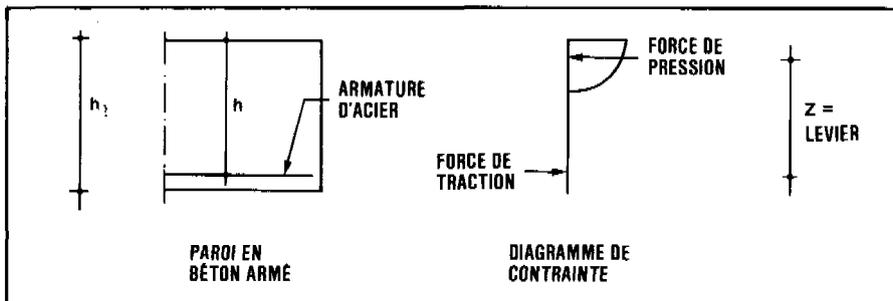


- où q_1 = charge superficielle = 0,67 kN/m' (c'est-à-dire
0,67 kN par mètre de longueur de paroi)
 q_2 = charge due au sol = $1/3 \times 9 \times 2,25 = 6,75$ kN/m'
 q_3 = charge due à l'eau = $10 \times 2,05 = 20,50$ kN/m'
 q_4 = gravier et sable = $1/3 \times 1,1 \times 16 = 5,9$ kN/m'

Le moment d'entrée au fond du filtre s'élèvera à :

$$M_A = \frac{1}{2} \times 0,67 \times 2,25^2 + \frac{1}{6} \times 6,75 \times 2,25^2 + \frac{1}{6} \times 20,50 \times 2,05^2 - \frac{1}{6} \times 5,9 \times 1,1^2 = 20,57 \text{ kNm}$$

L'épaisseur de paroi est fixée à 0,25 m, de sorte que le bras de levier intérieur est de $0,8 \times 0,25 = 0,20$ m

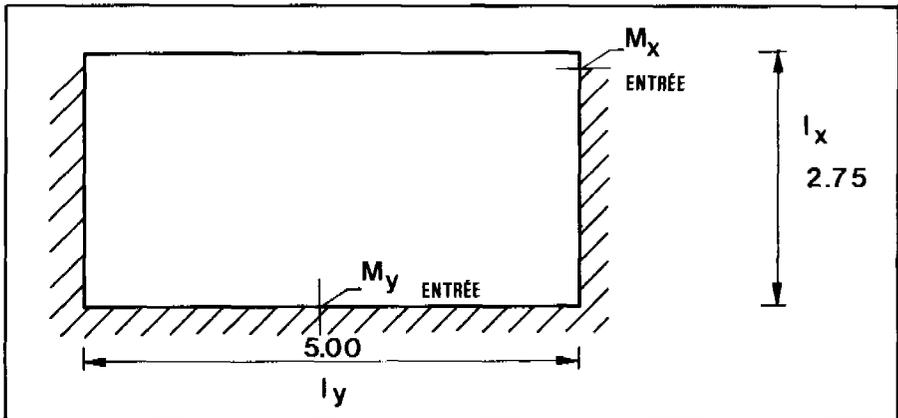


L'armature A peut être calculée comme étant le moment d'entrée + un facteur de sécurité, divisé par le bras de levier intérieur, multiplié par la résistance à la traction de l'acier, donc dans le cas présent:

$$A = \frac{M_A \times 1,8}{0,2 \times 220} = 841 \text{ mm}^2/\text{m}^1, \text{ soit } \emptyset 16 - 200 \text{ (voir Fig. A.8.1).}$$

- Petit côté:

Diagramme:



Le petit côté peut être calculé comme une plaque fixée sur trois côtés. Les moments d'entrée découlent du rapport l_y/l_x et peuvent être lus sur des tableaux (bibliographie 17, 18).

$$M_x \text{ entrée} = \frac{0,67 \times 2,75^2}{6} + \frac{27,25 \times 2,75}{13} = 16,7 \text{ kNm}$$

$$\text{de sorte que } A = 853 \text{ mm}^2 \text{ (} \emptyset 16 - 200 \text{).}$$

$$M_y \text{ entrée} = \frac{0,67 \times 2,75}{4} + \frac{27,25 \times 2,75}{18} = 12,72 \text{ kNm,}$$

$$\text{de sorte que } A = 650 \text{ mm}^2 \text{ (} \emptyset 16 - 250 \text{).}$$

On n'a pas tenu compte de la faible charge intérieure q_4 .

La Fig. A.8.1 donne les schémas d'armature, tant pour les bassins filtrants que pour le réservoir d'eau traitée de la solution typique N° IV (paragraphe 6.4).

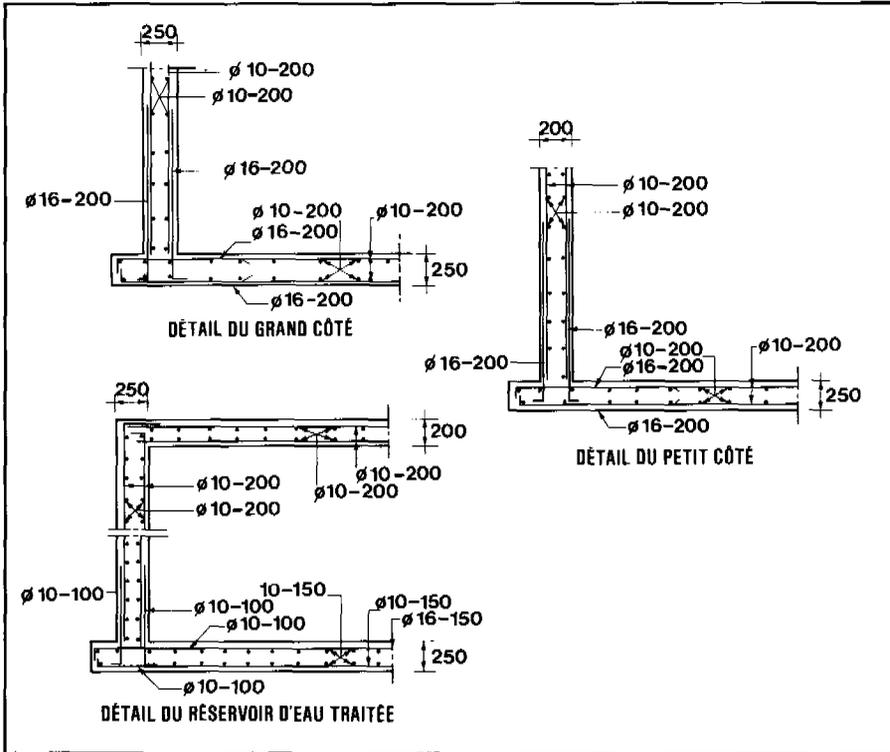


Fig. A.8.1.
Schémas d'armature d'une cuve de filtre et du réservoir d'eau traitée.

Vertical line on the left side of the page.

Annex 9.

Adresses des organisations membres de la FIDIC

La FIDIC (Fédération Internationale des Ingénieurs-Conseils) est un organisme international près duquel on peut se procurer des renseignements sur les documents contractuels, les appels d'offres, etc. Les organisations membres, dans les pays du monde en voie de développement, sont:

ARGENTINE

Cámara Argentina de la
Construcción,
Av. Paseo Colón 823,
BUENOS AIRES

BRESIL

Cámara Brasileira de la
Construcción,
Rua Do Senado 213
RIO DE JANEIRO

GUATEMALA

Cámara Guatemalteca de la
Construcción,
Apt. Postal 2083
GUATEMALA CITY

INDE

Builders Association of India
G-1/G-20 Commerce Centre,
7th Floor
J. Dadajee (Tardeo)
Main Road, Tardeo
BOMBAY 400 034

BOLIVIE

Cámara Boliviana de la
Construcción,
Casila de Correo 3215
LA PAZ

COLOMBIE

Cámara Colombiana de la
Construcción,
A.P.T. Aereo 28588
BOGOTA

HONGKONG

The Building Contractors
Association,
Ltd., Hong Kong,
180-182 Henessy Road, 3rd Floor
HONGKONG

INDONESIE

Assosiasi Kontraktor Indonesia
(Indonesia Contractors' Associa-
tion),
Jl.M.H. Thamrin 57,
P.P. Building, 2nd Floor
JAKARTA

COREE

Construction Association of
Korea, Construction Building,
32-23, 1-KA Taepyung-Ro
Joong-Ku,
SEOUL

MEXIQUE

Cámara Nacional de la Indus-
tria de la Construcción,
Colima 254,
MEXICO 7 D.F.

PEROU

Cámara Peruana de la
Construcción,
Paseo de la Republica,
Edificio Caseo Piso 12
LIMA

MALAISIE

Master Builders' Association,
Federation of Malaysia,
13 Jalan Gereja, 3rd Floor,
KUALA LUMPUR

NICARAGUA

Cámara Nicaraguense de la
Construcción,
Apartado Postal 3016
MANAGUA

PHILIPPINES

Philippine Contractors' Asso-
ciation Inc.,
Cond. off. Bldg.,
Ortigas Commercial Centre,
Pasig, Rizal,
MANILA

Bibliographie

1. Huisman, L., Wood, W.E.
La Filtration Lente sur Sable
Organisation Mondiale de la Santé, Genève, 1974
2. Slow Sand Filtration Project - Phase I. First
Progress Report
University of Science and Technology, Department
of Civil Engineering, Kumasi, Ghana, 1976.
3. Slow Sand Filtration Project. Report - Phase I.
National Environmental Engineering Research Institute,
Nagpur, India (1977).
4. Slow Sand Filtration Project. Report - Phase I.
University of Nairobi, Nairobi, Kenya, 1978.
5. Slow Sand Filtration Project. Phase I. Interim Report.
University of Khartoum, Khartoum, Sudan, 1976.
6. Slow Sand Filtration Project. Report - Phase I.
Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand, 1976.
7. Thanh, N.C., Ouano, E.A.R.
Horizontal-Flow Coarse-Material Prefiltration.
Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand, 1977.
8. Slow Sand Filtration for Community Water Supply in
Developing Countries, A Selected and Annotated Bibliography.
WHO International Reference Centre for Community Water
Supply, Voorburg (The Hague), The Netherlands, 1977.

9. Slow Sand Filtration for Community Water Supply in Developing Countries, An Operation and Maintenance Manual. International Reference Centre for Community Water Supply, Rijswijk (The Hague), The Netherlands.
(en préparation).
10. Approvisionnement Public en Eau et Evacuation des Eaux Usées des Pays en voie de Développement
Rapport de Statistiques sanitaires mondiales, Vol 26, N^o. 11
Organisation Mondiale de la Santé, Genève, 1973.
11. White, G.F., Bradley, D.J., White, A.U.
Drawers of Water
University of Chicago Press, Chicago, 1972.
12. Feachem, R., Mc.Garry, M., Mara, D.
Water, Wastes and Health in Hot Climates
John Wiley & Sons, London, 1977.
13. Surveillance de la qualité de l'eau de boisson
OMS Série de Monographies, N^o 63
Organisation Mondiale de la Santé, Genève, 1976.
14. Bingham, B.
Ferrocement; Design, Techniques and Application,
Carnell Martime Press, Cambridge, 1974.
15. Conditions of Contract for Works of Civil Engineering
Construction.
FIDIC, March 1977.
16. Normes Internationales pour l'Eau de Boisson
(3^e édition)
Organisation Mondiale de la Santé, Genève, 1971.

17. Reynolds, C.E., Steedman, J.C.C.
Reinforced Concrete Designer's Handbook.
Cement and Concrete Association, London, 1975.
18. Morgan, W.
Students Structural Handbook
Newnes Butterworths, 1976.
19. Manual of Concrete Practice
American Concrete Institute, Detroit, Michigan, 1974.
20. Dancy, H.K.
A Manual on Building Construction.
Intermediate Technology Publications Ltd., London, 1975.
21. Hach Catalogue.
The Hach Chemical Company, Ames, Iowa, 1976.
22. Millipore Catalogue.
Millipore Corporation, Bedford, Massachusetts, 1976.
23. Wagner, E.G., Lanoix, J.N.
Approvisionnement en Eau des Zones Rurales et des Petites Agglomérations
OMS Série de Monographies, N° 42
Organisation Mondiale de la Santé, Genève, 1959.
24. Cox. C.R.
Techniques et Contrôle du Traitement des Eaux
OMS Série de Monographies, N° 49
Organisation Mondiale de la Santé, Genève, 1967.
25. Mann, H.T., Williamsom, D.
Water Treatment and Sanitation
Intermediate Technology Publications Ltd., London, 1976.

26. Alimentations en eau des communautés rurales
Document de la Banque Mondiale, 1976

Glossaire

Aération	Processus destiné à créer de manière continue de nouvelles interfaces air/liquide, afin d'augmenter la teneur en oxygène de l'eau. Ceci peut se faire: a. en faisant couler le liquide en lames minces au-dessus d'un déversoir ou d'une plaque, b. en pulvérisant le liquide dans l'air, c. en faisant barboter de l'air dans le liquide, d. en agitant le liquide.
Affluent	Eau (ou autre liquide), non traitée ou partiellement traitée, pénétrant dans une partie de la station de traitement.
Année hydrologique	Période de la vie d'une rivière (8-12 mois) couvrant toutes les variations de ses caractéristiques hydrologiques dues au ruissellement, aux précipitations, à l'évaporation, à des prélèvements ou déversements artificiels (provoqués par l'homme), etc.
Capacité théorique	Capacité de traitement (en m^3/h) d'une installation de traitement d'eau nouvellement étudiée.
Charge hydraulique (ou superficielle)	Débit maximum à traiter par jour et par unité de surface, ou: $\text{charge hydraulique (m}^3\text{/m}^2\text{.j)} = \frac{\text{débit maximum (m}^3\text{/j)}}{\text{surface (m}^2\text{)}}$

	La charge hydraulique peut aussi être exprimée en $m^3/m^2.h$ (ou m/h).
Coefficient d'uniformité	Le coefficient d'uniformité (C.U.) est le rapport d_{60}/d_{10} (voir Diamètre effectif).
Compteur Venturi	<p>Dispositif employé pour mesurer le débit d'un liquide dans une tuyauterie, et dans lequel il est produit un rétrécissement progressif, jusqu'à former un "goulot", suivi d'un retour au diamètre normal.</p> <p>On mesure la pression au "goulot", où la pression est diminuée, et en amont, où le diamètre est normal, à l'aide de petits tubes conduisant à des manomètres. La vitesse, et par suite le taux de débit, est liée à la différence de pression entre ces points.</p>
Courbe hydraulique	<p>Graphique indiquant les gradients hydrauliques ultérieurs dans les diverses parties d'une installation de traitement traversées par l'eau à traiter.</p> <p>Un gradient hydraulique représente la perte de charge d'un liquide circulant dans une tuyauterie ou un canal, à travers un filtre ou une vanne, exprimée sous forme d'un rapport, de pente d'une courbe, ou d'une chute rendue par une fraction (m/km).</p> <p>Lorsque le liquide s'écoule sous pression dans une tuyauterie, le gradient</p>

hydraulique est la pente de la ligne joignant les hauteurs qu'atteindrait le liquide dans des tuyauteries avec aération libre et sous la pression atmosphérique.

Demande chimique
en oxygène
(DCO)

Quantité d'oxygène consommée par un oxydant donné pour oxyder les matières contenues dans un échantillon (d'eau). Telle qu'on la détermine couramment, c'est-à-dire au moyen de dichromate catalysé par l'argent, elle représente approximativement l'oxygène théoriquement nécessaire pour oxyder complètement les matières carbonées en gaz carbonique et en eau. Ce terme est aujourd'hui limité au test normalisé utilisant l'oxydation par une solution bouillante de dichromate de potassium acide.

Dépression;
pression négative

Si la perte de charge dans un lit filtrant est supérieure à la pression existante de la couche d'eau surnageante, l'eau filtrée s'écoulerait en se séparant de l'eau surnageante, créant ainsi un vide partiel. Dans de telles conditions, il peut se produire un "désamorçage" (emprisonnement d'air); libération d'air dans la zone de basse pression sous la pellicule supérieure du filtre, avec formation de bulles dans les pores du lit filtrant.

Le désamorçage peut donner lieu à une surcharge d'une partie du lit filtrant, avec pour résultat une dépréciation de la qualité de l'effluent.

Déversoir	Ouvrage au-dessus duquel l'eau s'écoule, le niveau de l'eau en aval étant d'ordinaire inférieur à la crête du déversoir. Lorsqu'on l'emploie pour mesurer des débits, le seuil peut être rectangulaire, triangulaire ou trapézoïdal, et le débit est lié à la hauteur d'eau en amont au-dessus de la crête, ainsi qu'à la géométrie de l'ouverture du seuil.
Déversoir triangulaire (à encoche en V)	Seuil de mesure en forme de V, avec angle au sommet de 60° habituellement, et utilisé pour mesurer de faibles débits (voir "Déversoir" et Annexe 6).
Diamètre effectif	Ouverture de maille du tamis tout juste franchi par 10% du matériau constituant le lit filtrant (symbole : d_{10}). Appelé aussi "grosseur effective".
Doseur hydraulique	Appareil doseur de réactifs chimiques, constitué d'éléments non mécaniques. Une solution chimique est injectée dans l'eau à traiter par des forces gravitaires (voir aussi Fig. A.3.1).
Durée d'amortissement	Période estimée (en fonction de l'expérience) au bout de laquelle une installation doit être remplacée par suite d'usure et de cisaillement.
Durée de remboursement du capital	Laps de temps qui s'écoule entre la dépense d'un capital et le remboursement de cette dépense au moyen de recettes courantes sur l'actif fixé.

Durée de service théorique Période pour laquelle une station de traitement ou une adduction d'eau sont prévus; ou bien, période durant laquelle, dans de circonstances normales, aucune extension de l'installation de traitement n'est nécessaire pour fournir aux consommateurs une alimentation en eau fiable.

Durée économique Période pendant laquelle un matériel produit un bénéfice compensant largement les frais sur capital (intérêts d'emprunts) et les frais d'exploitation d'entretien.

Durée physique de vie La durée physique de vie d'un équipement est la période (mois/années) pendant laquelle ce matériel reste en service aussi longtemps que l'entretien et les réparations sont effectués.

E. coli Escherichia coli: bactérie vivant dans le tractus alimentaire de l'homme et d'autres animaux. Comme il est excrété en grandes quantités avec les matières fécales, sa présence dans l'eau est l'indice d'une pollution fécale et de la présence possible de germes pathogènes d'origine intestinale; normalement il n'est pas lui-même pathogène.

Ecume, mousse Couche de matière grasses, huiles et graisses, avec particules de plastiques, matériaux d'emballage flottante, débris de végétaux et algues, s'élevant à la surface de l'eau surnageante par suite d'une densité inférieure à celle de l'eau.

Effluent	Eau (ou autre liquide), traitée à un plus ou moins haut degré, s'écoulant d'une partie de la station de traitement.
Enrochement	Matériau naturel de forte granulométrie et durable, par exemple "murram".
Facteur d'accroissement de population	Augmentation totale de la population par unité de population présente, au cours d'un certain nombre d'années. Le facteur d'accroissement de population est déterminé par le taux d'accroissement annuel et le nombre d'années considérées (période théorique).
Filtration à vitesse décroissante	Mode d'exploitation spécifique des filtres lents à sable. Si l'on ferme l'arrivée d'eau brute vers le réservoir d'eau surnageante, et si la vanne régulatrice de filtration est maintenue à sa position normale de marche, l'eau surnageante va traverser le filtre à une vitesse décroissante de façon continue. Un tel mode de fonctionnement peut être appliqué pendant la nuit, afin de réaliser des économies de main-d'oeuvre et d'investissement de capitaux.
Floculation/Coagulation	Processus par lequel on provoque l'agglomération des substances colloïdales et des matières en suspension finement dispersées, avec formation de floccs et agglomération des matières floculées. On peut réaliser la floculation/coagulation en ajoutant un ou plusieurs réactifs chimiques appropriés; ce peut aussi être un processus biologique.

Franc-bord	Distance verticale entre le niveau maximum de l'eau dans un réservoir et le haut des parois latérales, et qu'on ménage pour empêcher le contenu du réservoir d'être entraîné au-dessus des parois par de forts vents.
Horaire maximum	Demande en eau maximum au cours d'une seule heure.
Journée maximum	Demande en eau maximum au cours d'une seule journée (24 heures).
MPN	<u>M</u> ost <u>P</u> robable <u>N</u> umber: Nombre le plus probable évaluation statistique du nombre de bactéries viables obtenues dans une numération par dilution, comme par exemple: numération présomptive des coliformes, dans laquelle une série de tubes contenant un milieu de culture sélectif sont ensemencés avec des volumes prescrits d'échantillon et mis à incuber. Le nombre le plus probable s'obtient en examinant les tubes pour une réaction positive de croissance (par exemple, production d'acide et de gaz pour les coliformes), et en étudiant l'allure de ces réactions d'après des tables statistiques.
N; kN	Newton; kiloNewton. l'unité de force: $1 \text{ N} = g \text{ kg m/s}^2$ $9,8 \text{ kg m/s}^2$; $1 \text{ kN} = 9800 \text{ kg m/s}^2$; g = accélération due à la pesanteur ($9,8 \text{ m/s}^2$) ($10 \text{ N} = \text{environ } 1 \text{ kg poids}$).

NTU	<p><u>Nephelometric Turbidity Unit</u>:</p> <p>On mesure la turbidité par l'interférence avec le passage de rayons lumineux à travers un liquide, interférence causée par la présence de matières fines en suspension.</p> <p>(1 NTU = 1 FTU (<u>Formazin Turbidity Unit</u>) 1 mg SiO₂/l.</p>
Poids spécifique	Rapport entre la masse d'un volume donné d'une substance et la masse d'un volume égal d'eau à la température de 4° C.
Réservoir de distribution	Réservoir de stockage d'eau traitée, à l'intérieur du réseau de distribution, et assurant une retenue suffisante pour faire face aux périodes de très forte demande, sous une pression suffisante pour fournir de l'eau à tous les points de prélèvement prévus.
Résistance à la traction	Force de traction maximum par unité de surface, pouvant être supportée sans qu'il se produise de contrainte (déformation).
Résistance du béton à la compression	C'est la force de compression maximum admissible, par unité de surface, sans qu'il y ait cisaillement (déformation).
Taux annuel de développement	Taux annuel de reproduction, exprimé par le taux d'accroissement de la population par unité de population présente (en pourcentage).
Taux de débit d'un déversoir	Volume de liquide franchissant le seuil de sortie d'un réservoir, par unité de

longueur et au débit maximum, calculé
comme suit:

Taux de débit du déversoir ($m^3/m.h.$) =

$$\frac{\text{Taux d'écoulement maximum } (m^3/h)}{\text{Longueur totale des seuils de sortie } (m)}$$

Turbidité

Interférence avec le passage de rayons
lumineux au travers d'un liquide, due
à la présence de matières en suspension
fines.

Vertical line on the left side of the page.

Liste des correcteurs

1. Mr. T.B.V. Acquah, Chief Planning and Research, Ghana Water and Sewerage Corporation, Accra, Ghana.
2. Mr. Awad Ahmed Abdel Salam, Director Surface Water Section, Rural Water Corporation, Ministry of Agriculture Food and Natural Resources, Khartoum, Sudan.
3. Dr. R.C. Ballance, Sanitary Engineer, Division of Environmental Health, Organisation Mondial de la Santé, Genève, Suisse.
4. Mr. L. Chainarong, Director Rural Water Supply Division, Department of Health, Ministry of Public Health, Bangkok, Thailand.
5. Drs. F.W.J. van Haaren, Former Chief Amsterdam Waterworks Laboratories, Bakel, The Netherlands.
6. Prof. Ir. L. Huisman, Professor of Sanitary Engineering, Department of Civil Engineering, Technical University of Delft, Delft, The Netherlands.
7. Prof. K.J. Ives, Professor of Sanitary Engineering, Department of Civil and Municipal Engineering, University College London, United Kingdom.
8. Dr. M. Nawaz Tariq, Director, Institute of Public Health Engineering and Research, University of Engineering and Technology, Lahore, Pakistan.
9. Mr. R. Paramasivam, Scientist, National Environmental Engineering Research Institute, Nagpur, India.
10. Mr. J. Pickford, Senior Lecturer, Loughborough University of Technology, Loughborough, Leicestershire, United Kingdom.

11. Sr. M. Santacruz, Supervisor de Programas de Saneamiento Básico Rural, Instituto Nacional de Salud, Bogotá, Colombia.
12. Mr. P.C. Tyagi, Chief Design Section, Ministry of Water Development, Nairobi, Kenya.
13. Prof. A.N. Wright, Professor of Sanitary Engineering, Civil Engineering Department, Faculty of Engineering, University of Science and Technology, Kumasi, Ghana.