

CIR
Centre International de Référence
pour l'approvisionnement en eau
collective et l'assainissement

Centre de concert de O.V.S

Août 1983

La Haye Pays Bas

Alimentation en eau des petites collectivités

Technologies appropriées pour les petites
installations d'alimentation en eau dans
les pays en voie de développement

18

Documents techniques

201-83AL-8948

CENTRE INTERNATIONAL DE REFERENCE POUR L'APPROVISIONNEMENT EN EAU COLLECTIVE ET L'ASSAINISSEMENT

Avec l'aide de ses partenaires établis dans les pays en voie de développement et des agences des Nations Unies ainsi que d'organisations donatrices, le CIR contribue à la génération, au transfert et à l'application de connaissances adéquates par l'intermédiaire de programmes pour l'amélioration de l'eau et de l'assainissement.

Ces programmes qui sont orientés vers l'information comprennent:

1. Soutien et Services d'Information; 2. Développement et Transfert de Technologie; 3. Développement et Formation Professionnelle de Main d'Oeuvre; 4. Education et Participation Communautaires; et 5. Evaluation et Planification de Programmes.

Le CIR contribue à un soutien au moyen de publications et de matériel de formation professionnelle, de séminaires et de cours, de projets de recherche et de démonstration, ainsi que par un soutien d'ensemble tendant à développer les capacités nationales.

Toutes demandes de renseignements concernant le CIR devront être adressées au CIR, B.P. 5500, 2280 HM Rijswijk, Pays-Bas.

**CENTRE INTERNATIONAL DE REFERENCE
POUR L'APPROVISIONNEMENT EN EAU
COLLECTIVE ET L'ASSAINISSEMENT**

Centre collaborant de l'O.M.S.

ALIMENTATION EN EAU DES PETITES COLLECTIVITES

Technologies appropriées pour les petites installations d'alimentation en eau
dans les pays en voie de développement

Préparé à partir des Communications et sous la supervision commune de:

L. HUISMAN

Professeur de Génie Sanitaire
Université de Technologie de Delft
Pays-Bas

J. M. AZEVEDO NETTO

Professeur de Génie Sanitaire
Université de Sao Paulo
Brésil

B. B. SUNDARESAN

Directeur, National Environmental Engineering
Research Institute
Inde

J. N. LANOIX

Anciennement: Division de l'Hygiène de Milieu
Organisation Mondiale de la Santé
Genève, Suisse

Composé et édité par:

E. H. HOFKES

Centre International de Référence
pour l'approvisionnement en eau
collective et l'assainissement
La Haye, Pays-Bas

Traduction française:

P. ZARABI - J. GARANCHER
CEFIGRE

Centre de Formation Internationale
à la Gestion des Ressources en Eau
Valbonne
France

LIBRARY INTERNATIONAL REFERENCE
CENTRE FOR SUSTAINABLE WATER SUPPLY
AND SANITATION (IRC)
P.O. BOX 33190, 2309 AC The Hague
TEL: (070) 814911 ext. 141/142

RN: BN 8948
LC: 201 83AL

SERIE DOCUMENTS TECHNIQUES 18

Août 1983

resumé

Dispositifs d'alimentation en eau pour les petites collectivités, Août 1981

Un document de référence sur la technologie des dispositifs d'alimentation en eau pour les petites collectivités. Sujets : planification et gestion de petites installations, qualité et besoins quantitatifs pour l'eau potable, ressources en eau, récupération de l'eau de pluie, captage des eaux de source, exhaure de l'eau souterraine, prise d'eau de surface, recharge artificielle, pompage, traitement de l'eau (en général), aération, coagulation et floculation, décantation, filtration rapide, désinfection, transport et distribution de l'eau.

Des références sont données à chaque chapitre.

Les annexes fournissent des informations sur le contrôle sanitaire, les méthodes de forage des puits, les études expérimentales sur la conception des stations de traitement de l'eau, les produits chimiques utilisés et la conversion des unités de mesure.

350 pages; 244 figures; 24 tableaux.

Centre International de Référence pour
l'Alimentation en Eau et l'Assainissement
des Collectivités
B.P. 5500, 2280 HM Rijswik (La Haye)
Pays-Bas

On pourra, sur demande, être autorisé à reproduire des éléments de cet ouvrage.

Cet ouvrage est publié sous la responsabilité du Centre International de Référence.
Il ne reflète pas nécessairement les vues ou la politique de l'Organisation Mondiale de la Santé.

table des matières

PREFACE	8
REMERCIEMENTS	9
<u>1. INTRODUCTION</u>	10
1. 1. Alimentation en eau et santé humaine	10
1. 2. Alimentation en eau et développement socio-économique	13
1. 3. Installations d'alimentation en eau des petites collectivités dans les pays en voie de développement	15
<u>2. PLANIFICATION ET GESTION</u>	20
2. 1. Planification	20
2. 2. Gestion et supervision	24
2. 3. Main d'oeuvre et formation	26
2. 4. Implication de la collectivité	27
2. 5. Entretien	31
2. 6. Interventions d'urgence	34
<u>3. QUANTITE ET QUALITE DE L'EAU</u>	37
3. 1. Utilisation et consommation de l'eau	37
3. 2. Qualité de l'eau	40
<u>4. LES RESSOURCES EN EAU</u>	47
4. 1. Eau et hydrologie	47
4. 2. Qualité des ressources en eau	48
4. 3. Choix de la ressource en eau	50
<u>5. RECUPERATION DE L'EAU DE PLUIE</u>	53
5. 1. L'eau de pluie, ressource pour l'alimentation en eau	53
5. 2. Captage par les toits	53
5. 3. Collecte à partir du sol	57
5. 4. Stockage	59
5. 5. Préservation de la qualité de l'eau	62

<u>6. CAPTAGE D'UNE EAU DE SOURCE</u>	65
6. 1. Introduction	65
6. 2. Considérations de base	69
6. 3. Captage des sources s'écoulant par gravité	69
6. 4. Captage des sources artésiennes	71
<u>7. EXHAURE DE L'EAU SOUTERRAINE</u>	78
7. 1. Introduction	78
7. 2. Reconnaissance et prospection des eaux souterraines	79
7. 3. Méthodes d'exhaure de l'eau souterraine	86
7. 4. Galeries d'infiltration	91
7. 5. Puits ordinaires	94
7. 6. Forages	104
<u>8. PRISES D'EAU DE SURFACE</u>	117
8. 1. Prise d'eau de rivière	117
8. 2. Prise d'eau dans un lac	119
8. 3. Prises d'eau types	120
8. 4. Petits barrages et étangs de villages	122
8. 5. Dégrillage	123
<u>9. RECHARGE ARTIFICIELLE</u>	127
9. 1. Introduction	127
9. 2. Infiltration par la berge	128
9. 3. Epandage de l'eau	132
9. 4. Barrages de sable	135
<u>10. POMPAGE</u>	138
10. 1. Introduction	138
10. 2. Sources d'énergie pour le pompage	138
10. 3. Types de pompes	142
10. 4. Pompes à piston à mouvement rectiligne et alternatif	144
10. 5. Pompes rotatives (à déplacement positif)	148

10. 6. Pompes à flux axial	149
10. 7. Pompes centrifuges	151
10. 8. Dispositifs d'entraînement	152
10. 9. Ejecteurs à air comprimé	154
10.10. Bêlier hydraulique	157
<u>11. TRAITEMENT DE L'EAU DE CONSOMMATION</u>	161
11. 1. Introduction	161
11. 2. Eau souterraine : qualité et traitement	163
11. 3. Eau de surface : qualité et traitement	164
<u>12. AERATION</u>	169
12. 1. Introduction	169
12. 2. Aérateurs à cascade	170
12. 3. Aérateurs à bulles	175
<u>13. COAGULATION ET FLOCCULATION</u>	178
13. 1. Introduction	178
13. 2. Coagulants	179
13. 3. Mélange rapide	181
13. 4. Flocculation	184
13. 5. Flocculateurs hydrauliques	186
<u>14. SEDIMENTATION</u>	191
14. 1. Introduction	191
14. 2. Conception d'un bassin de décantation	192
14. 3. Construction	194
14. 4. Décanteurs à étages et décanteurs lamellaires	196
<u>15. FILTRATION LENTE SUR SABLE</u>	202
15. 1. Introduction	202
15. 2. Théorie de la filtration lente sur sable	204
15. 3. Principes de fonctionnement	206
15. 4. Considérations sur la conception des installations	209

15. 5. Construction	210
15. 6. Nettoyage	215
<u>16. FILTRATION RAPIDE</u>	221
16. 1. Introduction	221
16. 2. Aspects théoriques	226
16. 3. Fonctionnement et surveillance d'un filtre rapide	226
16. 4. Considérations relatives à la conception	232
16. 5. Construction	239
16. 6. Filtration rapide à l'échelle d'un village	242
16. 7. Filtration grossière	243
<u>17. DESINFECTION</u>	247
17. 1. Introduction	247
17. 2. Désinfection physique	247
17. 3. Désinfectants chimiques	248
17. 4. Chloration	249
17. 5. Technologie de la chloration pour l'alimentation en eau rurale	251
17. 6. Désinfection au chlore gazeux	255
17. 7. Désinfection des éléments nouvellement mis en place, réservoirs, tuyaux et joints	256
17. 8. Désinfection d'un réseau du système d'alimentation en eau en cas d'urgence	258
<u>18. TRANSPORT DE L'EAU</u>	260
18. 1. Introduction	260
18. 2. Types de conduites d'eau	260
18. 3. Considérations concernant la conception	263
18. 4. Conception sur le plan de l'hydraulique	264
18. 5. Transport de l'eau par pompage	268
18. 6. Canalisations	273

<u>19. DISTRIBUTION DE L'EAU</u>	279
19. 1. Introduction	279
19. 2. Réseaux de distribution	279
19. 3. Considérations concernant la conception des réseaux	286
19. 4. Conception d'un système de distribution	295
19. 5. Nature des canalisations	298
<u>ANNEXES</u>	
1. Contrôle sanitaire	301
2. Méthodes de forage	308
3. Etudes expérimentales pour la conception d'une station de traitement d'eau	331
4. Produits chimiques utilisés dans le traitement de l'eau	342
5. Facteurs de conversion des mesures	349

preface

L'Organisation des Nations Unies a consacré la période 1981-1990 : "Décennie Internationale de l'Eau Potable et de l'Assainissement". Beaucoup espèrent et croient que des efforts accrus vont être largement développés pour fournir une eau potable et un assainissement correct à tous ceux qui en ont besoin.

Les besoins sont énormes. Des centaines de millions d'habitants des pays en voie de développement n'ont aucun accès à une alimentation correcte en eau potable. Les problèmes sont tout particulièrement aigus pour les innombrables petites collectivités du monde rural et des banlieues des villes. Leur situation en matière d'eau potable est souvent extrêmement mauvaise.

La mise en place d'un approvisionnement en eau dans les petites collectivités se heurte la plupart du temps à des problèmes d'organisation, d'administration, d'implication de la collectivité et de finances plutôt qu'à des considérations d'ordre technique. Cependant le choix d'une technologie qui convienne est important étant donné que les autres problèmes sont encore plus difficiles à résoudre, si les techniques, les méthodes et l'équipement utilisés ne sont pas adaptés aux conditions et aux situations des petites collectivités.

C'est une erreur de considérer les installations d'alimentation en eau potable des petites collectivités comme des versions "à petite échelle" des installations urbaines qui demandent moins d'expérience et d'habileté technique. C'est exactement l'inverse. Simplicité et petitesse ne veulent pas dire rétrogrades ou de seconde zone, mais bien plutôt exigeant une adaptation convenable. Les technologies doivent être choisies de façon à pouvoir être intégrées dans les approches des implications des collectivités, ce qui est essentiel pour des aménagements à petite échelle. On ne peut aboutir qu'à une mauvaise application des technologies lorsque le concepteur n'a pas une pleine conscience des éléments de base du problème. Il en résultera habituellement des surdimensionnements coûteux impliquant une main d'oeuvre dont on ne pourra disposer et des exigences impossibles à satisfaire pour ce qui concerne la maintenance et l'exploitation.

Ce livre a été établi afin de fournir une large introduction à la technologie de l'alimentation en eau de petites collectivités. Il procure des informations et un guide à l'usage de tous ceux qui possèdent des bases techniques en matière de génie civil, de santé publique ou d'irrigation sans avoir une formation ou une expérience particulières en matière d'alimentation en eau potable. Il devrait aider les ingénieurs et les techniciens sanitaires qui sont appelés à assumer la responsabilité de la conception et de l'entretien de petites installations d'alimentation. Il peut intéresser les ingénieurs des provinces et des villes qui ont des responsabilités en matière d'alimentation en eau et d'assainissement, entre autres tâches. Ce livre, cependant, n'est pas un manuel pour des étudiants ingénieurs ou des techniciens de l'eau. Quelques explications théoriques y ont été incluses mais en les limitant au minimum. Pour de plus amples informations, on se reportera aux monographies et aux livres cités en référence.

remerciements

Beaucoup de personnes ont contribué à réunir les informations nécessaires à la rédaction de ce livre.

Un groupe d'auteurs a essentiellement contribué à la rédaction des différents chapitres et a contrôlé la préparation de l'ensemble de l'ouvrage. Il s'agit du Professeur L. Huisman (Pays-Bas), du Professeur J.M. de Azevedo Netto (Brésil), du Docteur B.B. Sundaresan (Inde) et du Docteur J.N. Lanoix (O.M.S., Genève).

Par ailleurs, nous devons à Messieurs L.C. Hutton et W. Moffat (WEDC Group, Loughborough University of Technology, Grande Bretagne) les éléments concernant les eaux souterraines et la prospection, et à Monsieur P.K. Cruse (George Stow & Co. Ltd, Water Well Engineers, Henley-on-Thames, England) la partie sur les méthodes de forage. Monsieur R. Trietsh (DHV Consulting Engineers, Amersfoort, Pays-Bas) nous a aidés en réunissant les éléments de documentation pour les chapitres concernant le transport et la distribution de l'eau. Le Docteur B.C.J. Zoeteman (National Institute for Water Supply, Pays-Bas) nous a conseillés pour la présentation des aspects "eau et santé" et pour l'établissement des normes relatives à la qualité de l'eau potable.

Un grand merci à ceux qui ont bien voulu faire la critique du manuscrit; leurs remarques nous ont permis de corriger et d'améliorer le document. Nous voulons tout particulièrement mentionner les personnalités suivantes : Docteur G. Bachmann (O.M.S., Genève), Monsieur Edwin Lee (O.M.S., WPRO, Manille), Monsieur D.V. Subrahmanyam (O.M.S., SEARO, New-Delhi), Monsieur David Donaldson (PAHO, Washington), Monsieur F.E. McJunkin (US Aid, Washington) et Monsieur T.K. Tjiok (IRC, La Haye).

Monsieur E.H. Hofkes (IRC, La Haye) a été chargé de réorganiser, corriger et même souvent réécrire complètement certaines parties ou certains chapitres en fonction des documents reçus, des remarques et des nombreux commentaires suscités par le manuscrit.

Monsieur C. Bedard nous a apporté une aide importante pour l'édition. Madame Hannie Wolsink s'est chargée du travail ingrat de la relecture des épreuves et de la coordination administrative sans laquelle la préparation de ce livre n'aurait pas été possible.

Le présent ouvrage sera probablement à reprendre dans une étape future. Le travail sera entrepris dès qu'il le faudra.

Les remarques et les suggestions des lecteurs en vue d'aménagements, de corrections ou de compléments seront les bienvenues. Elles nous serviront lors de la réédition du livre et seront largement prises en considération. Toute communication serait à adresser au C.I.R. Boîte Postale 5500, 2280 HM Rijswijk (La Haye), Pays-Bas.

1. introduction

1.1 Alimentation en eau et santé humaine

L'eau est essentielle à l'homme, aux animaux, aux plantes; sans eau, il n'y aurait pas de la vie sur terre. Au tout début de la civilisation, les hommes s'installaient près des points d'eau, au bord des rivières, des lacs et au voisinage des sources naturelles. En fait, là où vivent des hommes c'est qu'il y a un peu d'eau disponible pour la consommation humaine, les usages domestiques et, sans doute, pour les animaux. Cependant ceci n'implique pas que cette eau se trouve en quantité suffisante, ni qu'elle soit d'un accès facile, ni qu'elle soit saine et salubre. A l'inverse, dans beaucoup de pays, les gens vivent dans des zones où l'eau est rare. Souvent on doit la transporter sur de grandes distances, en particulier pendant les périodes sèches. La pénurie d'eau peut aussi conduire à utiliser des eaux contaminées par les excréments tant humains qu'animaux qui représentent un danger pour la santé humaine.

Quelques litres d'eau chaque jour suffisent pour la boisson et la préparation des repas d'une personne; cela dépend du climat et du style de vie. Une plus grande quantité d'eau est nécessaire si elle est utilisée à d'autres fins : hygiène corporelle, entretien des ustensiles de cuisine, lavage du linge et de la maison. Un accès facile et des quantités suffisantes d'eau, joints à l'hygiène personnelle, sont certainement les éléments de base et les composants essentiels d'une bonne santé. Ils peuvent aider à diminuer dans une large mesure les maladies qui affectent les populations déshéritées, spécialement celles qui vivent dans les zones rurales et les banlieues des villes.

Une eau de boisson saine est importante pour la lutte contre de nombreuses maladies. Ceci est particulièrement bien établi pour des maladies comme la diarrhée, le choléra, la typhoïde et la paratyphoïde, les hépatites infectieuses, les dysenteries amibiennes et bactériennes. Il a été estimé que 80 % de toutes les maladies dans le monde sont associées à une eau malsaine. Cette association peut revêtir beaucoup d'aspects auxquels les maladies peuvent être rattachées (Tableau 1.1.).

I. Les maladies transmises par l'eau sont celles qui sont dues à des agents infectieux provenant d'hommes ou d'animaux. Les agents infectieux sont ingérés avec l'eau de boisson. Pour lutter contre ces maladies, il faut améliorer la qualité de l'eau.

II. Les maladies dues à un manque d'eau peuvent constituer un danger sérieux pour la santé publique. Lorsque les gens n'utilisent que très peu d'eau, soit parce qu'il n'y a que très peu d'eau disponible, soit parce qu'il faut aller la chercher très loin et qu'on ne peut en apporter de grandes quantités à la maison, il peut être impossible d'assurer une hygiène personnelle suffisante. Il y aura trop peu d'eau pour pouvoir se laver convenablement et pour laver les ustensiles de cuisine et les habits. Des infections de la peau et des yeux pourront alors se développer; des maladies intestinales pourront se transmettre facilement d'une personne à

Tableau 1.1.

Maladies liées à des insuffisances dans les domaines de l'eau et de l'assainissement

CATEGORIES	MALADIES	
<u>I. Maladies transmises par l'eau. Celle-ci n'agit que comme véhicule passif de l'agent infectieux. Toutes ces maladies sont liées aussi à un manque d'assainissement.</u>	Choléra Typhoïde Dysenterie bacillaire Hépatite virale Leptospirose Giardiasis Gastro-entérite	
<u>II. Maladies dues au manque d'eau et à une mauvaise hygiène personnelle qui créent des conditions favorables à leur développement. Les infections intestinales de ce groupe dépendent aussi de l'absence d'installations convenables pour l'évacuation des déchets humains.</u>	Gale Maladies infectieuses de la peau et ulcères Lèpre Poux et typhus Trachome Conjonctivite Dysenterie bacillaire Dysenterie amibienne Salmonellose Diarrhée à entérovirus Paratyphoïde Ascariodose Trichocéphalose Entérobirose Ankylostomiase	
<u>III. Maladies transmises par des agents infectieux diffusés par contact avec l'eau ou ingestion d'eau. Une partie essentielle du cycle vital de l'agent infectieux se passe dans un animal aquatique; certaines de ces maladies sont aussi liées à une mauvaise évacuation des déchets.</u>	Schistosomiase (urinaire et anale) Dracunculose (ver de guinée) Bilharzirose Filariose Onchocercose Ascariodose	
<u>IV. Maladies transmises par des insectes qui vivent près de l'eau (vecteurs en relation avec l'eau). Les infections sont transmises par des moustiques, des mouches, des insectes qui se reproduisent dans l'eau ou qui piquent au voisinage de l'eau. Ils sont particulièrement actifs et agressifs si l'eau est stagnante. Ils ne sont pas affectés par les dispositifs d'assainissement.</u>	Fièvre jaune Dengue et fièvre hémorragique Fièvre de l'ouest du Nil et de la vallée du Rift Encéphalites à arbovirus Filaire de Bancroft Paludisme (malaria) ° Onchocercose ° Trypanosome ° (maladie du sommeil)	moustique moustique moustique moustique moustique Simulie mouche Tsé Tsé
<u>V. Maladies dues à des agents infectieux contractés le plus souvent en mangeant du poisson ou d'autres aliments mal cuits. (Maladies en liaison avec l'évacuation des matières fécales).</u>	Clonorchiose Diphyllobothriase Fasciolopsiase Paragonimiase	Poisson Poisson Plantes comestibles Coquillages

° Les eaux usées domestiques n'ont pratiquement pas d'influence sur ces maladies

Origine :

Saunders, J.; Warford, J.

Village Water Supply : Economics and policy in the Developing World

Published for the World Bank by the Johns Hopkins University Press, Baltimore, 1976

l'autre. La prévention de ces maladies dépend plus de la disponibilité et de l'accès possible à des quantités suffisantes d'eau que de la qualité de l'eau.

III. Les maladies transmises par des agents infectieux diffusées par contact avec l'eau ou ingestion d'eau ne résultent pas d'un contact direct de personne à personne. Elles sont dues à des agents infectants qui, pour une grande partie de leur cycle vital, se développent dans des animaux aquatiques spécifiques, spécialement des escargots et des crustacés. Pendant quelques jours ou quelques semaines, les larves ou les oeufs de parasites mûrissent dans ces hôtes intermédiaires puis sont répandus dans l'eau. Les larves ou les oeufs ayant subi cette maturation vont contaminer les personnes qui boivent l'eau ou qui ont un contact avec elle.

IV. Maladies transmises par des insectes. Dans les régions tropicales, les insectes piqueurs sont courants. La plupart d'entre eux, notamment les moustiques, se reproduisent dans des mares ou autres eaux de surface et parfois même dans les récipients dans lesquels on conserve l'eau à la maison. Les mouches Tsé Tsé sévissent aussi au voisinage de l'eau. De tels vecteurs liés à l'eau peuvent transmettre la maladie, s'ils sont porteurs d'agents pathogènes.

Des risques pour la santé peuvent également avoir leur origine ailleurs que dans l'eau.

V. Maladies n'ayant pas un rapport direct avec l'eau. Des maladies peuvent se transmettre par contact direct (par exemple des mains sales) ou par ingestion d'aliments tels que poisson, légumes et fruits consommés crus. En plus d'un approvisionnement en eau saine, certaines mesures sont indispensables pour limiter les maladies : hygiène personnelle, surveillance des lieux de stockage des aliments et des marchés...

Il est très important de fournir un assainissement convenable comprenant des installations sanitaires pour les excréments humains. Toutes les maladies de la catégorie I. et un grand nombre de maladies de la catégorie III. résultent de la dispersion d'agents infectants en provenance des excréta humains qui se retrouvent dans l'eau de boisson et dans la nourriture.

La chaîne de transmission des maladies peut être brisée par une évacuation correcte des matières fécales aussi bien que par l'installation d'une distribution correcte en eau saine. Pour certains agents, tels que les ankylostomes, l'assainissement est beaucoup plus important que l'alimentation en eau dans une politique de prévention des maladies; la transmission se fait en effet à partir des matières fécales déposées sur le sol du fait d'un contact direct avec pénétration par la peau.

Les améliorations apportées à la qualité de l'eau distribuée par les installations des collectivités n'affecteront en principe que les maladies transmises par l'eau, telles que la dysenterie bacillaire, le choléra, la typhoïde et éventuellement les schistosomiasés. Beaucoup de maladies diarrhéiques sont probablement plutôt dues à un manque d'eau en quantité. Les infections de la peau et des yeux appartiennent certainement à un groupe de maladies liées à l'eau.

L'installation d'un robinet pour le lavage corporel, d'une douche ou autres installations sanitaires pour la toilette est fréquemment apparue comme apportant une amélioration à la situation sanitaire des usagers. Il n'est cependant aucunement certain que lorsque chaque famille disposera d'un robinet une amélioration ultérieure de l'alimentation en eau aura un effet sensible sur sa santé. Lorsque l'on développe des installations d'alimentation en eau sans apporter parallèlement des améliorations en matière d'hygiène personnelle, en matière de manipulation et de préparation des aliments, et dans les soins généraux concernant la santé, il est peu probable que l'on en tire les avantages que l'on pouvait espérer en matière de santé.

1.2 Alimentation en eau et développement socio-économique

Dans les pays industrialisés, les dispositifs d'alimentation en eau des collectivités ont d'abord été construits pour les plus grandes villes. Les villes les plus petites et les bourgs ont suivi. Les installations d'approvisionnement en eau étaient construites par les autorités nationales, régionales ou urbaines, ou par des compagnies privées. Dans les zones rurales,



Figure 1.1.
L'eau apportée de très loin pour les besoins domestiques sera utilisée avec beaucoup de parcimonie

WHO Photo by A. S. Kochar

les dispositifs d'alimentation en eau ne furent établis que longtemps après car les considérations relatives à la santé publique y étaient moins pressantes que dans les zones urbaines. Dans la première moitié du XXe siècle, de nombreux gouvernements commencèrent à fournir une assistance financière et technique à des petites collectivités et les installations d'alimentation en eau pour la population rurale furent largement développées.

Une alimentation correcte en eau saine constitue un impératif préalable au développement socio-économique d'une collectivité. Des facteurs tels que les économies de temps et d'énergie dans l'approvisionnement en eau et une réduction substantielle des effets des maladies peuvent contribuer au développement à condition que le temps et l'énergie épargnés soient utilisés à des fins économiques.

Une nouvelle installation d'alimentation en eau pourrait venir en aide à des activités telles que la production des fruits et des légumes ou la conservation du poisson. Que les bénéfices potentiels de productivité soient ou non obtenus dépend de circonstances spécifiques. Un élément important est de savoir comment on peut utiliser le temps et l'énergie économisés dans le transport de l'eau. Dans certains villages, la mauvaise santé des travailleurs affecte très sérieusement le développement agricole; dans d'autres, où il y a du chômage, aucun bénéfice ne peut être obtenu à moins que le projet d'alimentation en eau constitue une partie d'un projet de développement rural intégré permettant d'accroître l'emploi. Une nouvelle installation en eau peut ouvrir des possibilités à des entreprises artisanales, à de l'élevage ou à des productions végétales. Ainsi, lorsque, dans une action d'ensemble, le travail productif est stimulé, et que l'hygiène personnelle, les soins de santé et la préparation des aliments sont améliorés simultanément, un dispositif d'alimentation en eau mis en place pour une collectivité peut avoir un impact positif sur le développement socio-économique.

Cela est particulièrement vrai dans les régions arides ou les zones ayant une longue saison sèche si des quantités suffisantes d'eau sont fournies pour permettre l'alimentation du bétail et l'irrigation des jardins potagers.

Il est possible que les dispositifs d'alimentation en eau, combinés avec des programmes complémentaires de développement de la santé et de l'économie, puissent ralentir l'exode rural. Il est peu vraisemblable, cependant, que la seule réalisation d'une alimentation en eau ait un effet substantiel sur cet exode rural. On peut cependant penser que les installations d'alimentation en eau peuvent, sur une certaine période de temps, encourager le regroupement de populations dispersées dans des unités rurales d'une certaine taille. Plus la population à desservir sera concentrée, plus il sera facile de mettre en place, dans des conditions financières acceptables, un dispositif d'approvisionnement en eau qui pourra être correctement entretenu. Si l'alimentation en eau permet d'encourager des établissements de population d'une certaine importance, cela peut aider à l'amélioration du développement économique potentiel.

Dans la plupart des cas, il est impossible de présenter une justification économique

rigoureuse pour les projets d'alimentation en eau des petites collectivités. La justification doit plutôt porter sur une évaluation qualitative des bénéfices que l'on espère obtenir de l'alimentation en eau. Les bénéfices directs les plus importants, résultant d'une amélioration de la qualité de l'eau, sont en général une hygiène et une santé meilleures, une commodité plus grande, et des avantages résultant du stockage de l'eau et de l'irrigation des jardins potagers. Les bénéfices indirects habituellement cités sont la redistribution de l'énergie économisée en faveur des éléments pauvres de la population rurale, un meilleur niveau de vie, et un développement des institutions de la collectivité.

1.3 Installations d'alimentation en eau des petites collectivités dans les pays en voie de développement

Dans les centres urbains des pays en voie de développement, des installations d'alimentation en eau analogues à celles qui ont été développées dans les pays industrialisés



Figure 1.2.
Aspect type d'une petite collectivité

peuvent convenir, moyennant des adaptations appropriées. En raison des économies d'échelle et du grand nombre des habitants à desservir, l'investissement par tête d'habitant et les coûts de fonctionnement des installations urbaines d'alimentation pourront ne pas être trop élevés. Lorsqu'un nombre substantiel de maisons sont reliées au réseau de distribution d'eau, et que les taxes sont collectées sur une base réglementaire, l'alimentation en eau peut s'auto-financer.

Dans la plupart des petites villes et des collectivités rurales des pays en voie de développement, les conditions pour l'alimentation en eau sont très différentes de celles qui existent pour les installations urbaines. En général, la population à desservir est réduite et la faible densité de population rend coûteuse la distribution de l'eau par canalisations. La population rurale est souvent très pauvre et, particulièrement dans les économies de subsistance, on dispose de très peu d'argent. On ne trouve que difficilement des fonds pour financer le fonctionnement et l'entretien des installations; il est peu vraisemblable que les petites collectivités obtiennent les capitaux indispensables pour les investissements sans l'assistance de gouvernement national ou celle de donateurs extérieurs ou d'institutions de prêts. On ne dispose généralement pas, dans les petites collectivités, de personnel formé pour le fonctionnement et l'entretien de l'installation d'approvisionnement en eau. Une équipe qualifiée pour la conception et la construction peut être envoyée par des organismes extérieurs qui assistent ainsi les institutions nationales et leur permettent donc de se suffire à elles-mêmes. Le recrutement et la formation du personnel nécessaire pour le fonctionnement et l'entretien des installations d'alimentation en eau peuvent cependant être difficiles. Un élément important est de recourir à une technologie appropriée aux conditions locales. Cette technologie différera de la technique traditionnelle qui est essentiellement mise en oeuvre dans les grandes installations d'alimentation en eau des villes des pays développés.

Pour les petites collectivités, il n'est souvent pas possible sur le plan économique d'établir des installations d'alimentation par conduites avec branchements d'abonnés. Dans de tels cas, la solution réaliste est d'équiper un certain nombre de "points" d'eau, un puits protégé muni d'une pompe à main, une structure de captage d'une source ou peut-être une installation de captage et de stockage d'eau de pluie. Pour des villes ou des villages plus importants, on pourra peut-être établir une petite station de traitement d'eau avec distribution par des bornes fontaines publiques. Lorsque la collectivité à desservir contribue aux coûts de construction, soit en argent, soit en fournissant de la main d'oeuvre ou des matériaux de construction, l'investissement en capital peut être faible. Les dépenses périodiques pour le fonctionnement et l'entretien soulèvent souvent un problème, spécialement lorsque des taxes sont difficiles ou impossibles à collecter auprès des usagers.

Une installation d'alimentation en eau pour une petite collectivité ne doit pas être difficile à concevoir et à construire. L'ingénieur doit choisir avec soin une technologie simple, sûre et adaptée aux compétences disponibles tant dans l'ordre technique que dans l'ordre administratif. Cela n'est pas facile, mais ces problèmes constituent un défi fascinant et

leur solution est la récompense du travail accompli sur le terrain. Cela fait longtemps que l'on construit des installations d'alimentation en eau pour de petites collectivités mais, à une époque récente, celles-ci ont été établies en grand nombre. On compte quelques succès mais, dans l'ensemble, les résultats n'ont pas été bons. Parfois les petites installations d'alimentation en eau sont apparues comme inadaptées aux conditions dans lesquelles elles devaient fonctionner. Plusieurs installations ont été complètement abandonnées dans les quelques années qui ont suivi leur construction. De nombreuses avaries se sont produites. Il est nécessaire de tirer enseignement des erreurs du passé et de comprendre les causes de ces échecs. C'est à partir de là que l'on peut établir des directives pour la planification, la construction, l'exploitation et l'entretien de petites installations d'alimentation en eau.

Introduction

Ballance, R.C.

WATER SUPPLY, SANITATION AND TECHNOLOGY

Interdisciplinary Science Reviews, Vol. 3, No. 3, 1978

Beyer, M.

DRINKING WATER FOR EVERY VILLAGE : Choosing appropriate technologies

In : Assignment Children 1976, No. 34 (April-June)

Cairncross, S.; Feachem, R.G.

SMALL WATER SUPPLIES

Ross Institute, London 1978, 78 p. (Bulletin No. 10)

COMMUNITY WATER SUPPLY

World Health Organisation, Geneva, 1969, 21 p.

(Technical Report Series No. 420)

Environmental Protection Agency

MANUAL OF INDIVIDUAL WATER SUPPLY SYSTEMS

U.S. Government Printing Office, Washington D.C., 1973, 155 p.

Feachem, R.G.; MacGarry, M.G.; Mara, D. (eds.)

WATER; WASTES AND HEALTH IN HOT CLIMATES

John Willey, London, 1977

Feachem, R.G.; Burns, E.; Cairncross, S. et al

WATER, HEALTH AND DEVELOPMENT : AN INTERDISCIPLINARY EVALUATION

Tri-Med Books, London, 1978, 267 p.

Johnson, C.R.

VILLAGE WATER SYSTEMS

UNICEF, Nepal, 1977, 107 p.

Mann, H.T.; Williamson, D.

WATER TREATMENT AND SANITATION : A HANDBOOK OF SIMPLE METHODS
FOR RURAL AREAS

Intermediate Technology Publication Ltd. London, 1976, 90 p.

Pacey, A. (ed.)

WATER FOR THE THOUSAND MILLION

Pergamon Press, Oxford, 1977

PEOPLE, WATER AND SANITATION

In : Assignment Children No. 45/46

UNICEF, Geneva, 1976

Pineo, C.S.; Subrahmanyam, D.V.

COMMUNITY WATER SUPPLY AND EXCRETA DISPOSAL SITUATION IN THE
DEVELOPING COUNTRIES : A COMMENTARY

World Health Organisation, Geneva, 1980, 11 p.

Saunders, R.J.; Warford, J.J.

VILLAGE WATER SUPPLY : ECONOMICS AND POLICY IN THE DEVELOPING WORLD

World Bank Research Publication

Johns Hopkins University Press, Baltimore, 1976, 279 p.

Secrétariat des Missions d'Urbanisme et d'Habitat (S.M.U.H.)

ALIMENTATION EN EAU

Ministère de la Coopération

Fonds d'Aide et de Coopération (F.A.C.), Paris, 1977

Wagner, E.G.; Lanoix, J.N.
WATER SUPPLY FOR RURAL AREAS AND SMALL COMMUNITIES
World Health Organisation, Geneva, 1959, 337 p.
(Monograph Series No. 42)

White, A.U.; Seviour, C.
RURAL WATER SUPPLY AND SANITATION IN LESS-DEVELOPED COUNTRIES
International Development Research Centre, Ottawa, 1974, 81 p.

White, G.F.; Bradley, D.J.; White, A.U.
DRAWERS OF WATER : Domestic Water Use in East Africa
University of Chicago Press, Chicago, 1972

2. planification et gestion

2.1 Planification

Dans de nombreux pays, la prévision de dispositifs d'alimentation en eau pour les collectivités est un élément essentiel dans le programme d'action pour la santé et l'environnement. Ces projets sont fréquemment planifiés dans ce contexte. Cependant, la responsabilité effective des autorités responsables de la santé publique se limite souvent à la surveillance de la qualité de l'eau de boisson des collectivités, parfois associé au contrôle des installations d'assainissement. Dans certains pays, l'autorité sanitaire assume une responsabilité directe pour les dispositifs d'alimentation en eau et d'assainissement des petites collectivités rurales.

La fonction de contrôle dans les domaines des installations d'alimentation en eau et d'assainissement implique une participation importante à la planification, à la gestion et à l'entretien de toutes les installations. Mais l'autorité sanitaire peut ne pas être suffisamment équipée en personnel et en matériel pour répondre aux demandes qui résulteraient d'une telle implication. Les éléments scientifiques des autres départements ministériels assument, en général, la charge de la planification de l'approvisionnement en eau et celle de la construction. Ils concentrent plutôt leurs efforts sur les aspects relevant de l'art de l'ingénieur et de l'économie, risquant de négliger les implications tant sanitaires que sociales des installations d'alimentation en eau potable.

Des programmes plutôt que des projets

La planification et la conception d'un dispositif d'alimentation en eau d'une ville importante s'établissent en général dans le cadre d'un projet. Le terme projet est utilisé ici pour décrire toutes les opérations qui interviennent avant la réalisation d'un projet déterminé d'alimentation en eau ou d'assainissement. Chaque installation importante est étudiée dans le cadre d'un projet séparé. Cependant, lorsque l'on planifie des dispositifs d'alimentation en eau pour un grand nombre de petites collectivités rurales, l'approche est à faire plutôt dans le cadre d'un programme que dans celui d'une série de projets individuels. Un programme doit ici être compris comme un ensemble intégré d'activités continues orientées vers la réalisation d'un nombre considérable de dispositifs similaires d'approvisionnement en eau. Les problèmes clés relèvent vraisemblablement moins de la technique que de l'organisation et de l'administration. Les aspects relatifs à l'implication de la collectivité seront alors beaucoup plus largement développés.

Dans le cadre d'un programme, les décisions techniques seront souvent subordonnées à d'autres considérations. Par exemple on réduira, autant qu'on le pourra, le nombre de types ou modèles de pompes à utiliser dans un programme afin de réduire les problèmes d'approvisionnement et d'entretien. Dans l'approche d'un projet, une pompe serait à choisir correctement

adaptée aux impératifs techniques et on adaptera le système d'entretien aux caractéristiques de la pompe et aux exigences du service.

Une autre différence fondamentale concerne la façon dont les utilisateurs se sentent concernés par l'installation d'alimentation en eau et perçoivent la relation qu'il y a entre la dépense exposée et les avantages retirés. Le citoyen a rarement le choix entre plusieurs ressources en eau et a généralement pleine conscience des avantages généraux apportés par un service d'alimentation en eau. Ainsi, il suffit de peu de temps et d'effort pour le convaincre des avantages que procure une distribution apportant davantage d'eau ou une eau saine. Dans une petite collectivité rurale, il n'y a pas en général d'équivalent à la "demande" urbaine d'eau. Les ménages ruraux ont fréquemment le choix entre diverses ressources en eau et les gens ont leurs propres critères de choix. L'eau est en général perçue comme une facilité dont on est libre d'user. Les considérations de santé jouent un rôle mineur. Les quantités d'eau utilisées sont faibles, sauf peut-être pour celles qui sont stockées et utilisées pour l'irrigation. Une demande très forte pour une bonne qualité n'existera alors qu'occasionnellement dans des situations de grande pénurie ou de pollution importante des ressources en eau.

On doit s'attendre dans ces conditions à ce qu'une demande en eau de type urbain ne se manifeste pas dans les petites collectivités rurales sans une modification dans des habitudes profondément ancrées d'utilisation de l'eau. Un effort d'éducation devra être lié à tout programme rural d'alimentation en eau et appliqué avec discernement et une bonne connaissance des habitudes locales.

Considérations financières :

Dans les zones urbaines, les habitants ont en général accepté le principe, ou du moins, sont familiarisés avec le fait qu'ils doivent payer l'eau, ou plutôt sont conscients de l'intérêt qu'il y a de pouvoir disposer d'une eau saine près du point d'utilisation. Dans les petites collectivités rurales, le principe du paiement de l'eau n'est pas en général largement accepté. La population pense que l'eau, comme l'air, est un don du ciel. C'est également un fait que les habitants des petites collectivités ont peu d'argent. Aussi, la mise en oeuvre des projets sur le plan financier sera difficile et prendra du temps; elle exigera une compréhension claire des habitudes locales. Par exemple, les facturations devront être coordonnées avec les rentrées d'argent résultant des récoltes.

Pour tout programme rural d'alimentation en eau, il est nécessaire d'établir un arrangement financier à long terme. Les petites collectivités n'obtiennent souvent que très difficilement les capitaux pour la construction même lorsqu'elles sont intégrées dans un programme national ou provincial. Les initiatives visant à la mise en place et au financement de ces programmes doit donc venir du gouvernement, central ou provincial.

Les "fonds renouvelables" constituent une méthode excellente de financement en raison de leur flexibilité et de leur adaptabilité aux exigences et aux conditions locales. Un "fonds

renouvelable" est un fonds établi au niveau central qui finance de nouveaux projets en utilisant des remboursements concernant des prêts plus anciens. Au départ, le fonds doit être établi à un niveau national ou provincial. Les collectivités devant bénéficier de l'eau collaborent par leur travail et l'apport de matériaux locaux pour la construction (par exemple, en Amérique Latine jusqu'au 20 % des coûts de construction). On paie alors une redevance pour la fourniture de l'eau qui, en règle générale, couvre les dépenses locales de fonctionnement et de réparations mineures. Afin de soutenir les efforts ainsi accomplis au plan local, le programme national doit organiser un dispositif pour les réparations majeures et l'entretien au niveau du district ou de la province. Lorsqu'arrivent les remboursements des prêts antérieurement consentis, le fonds renouvelable est disponible pour financer d'autres projets.

Il est important de noter que, dans le financement d'un projet urbain, théoriquement, tous les fonds nécessaires proviennent en général de la collectivité elle-même sous forme des paiements pour l'eau fournie. Par contre, pour les petites collectivités rurales, environ 80 % des coûts de construction viendront de l'extérieur sous forme de prêts, de dons, etc... et ce n'est que le reste, soit 20 %, qui constitue une contribution directe de la collectivité sous forme de matériaux de construction et de main d'oeuvre.

Des études récentes faites en Amérique Latine indiquent que les schémas de remboursements conduisent à promouvoir la mise en place d'une organisation au niveau local. Pour cela, l'assistance d'administrateurs locaux est essentielle. Les communautés doivent obtenir le financement des services d'alimentation en eau et un des avantages majeurs est une implication plus importante de la collectivité.

Modèles types et standardisation :

Lorsqu'on examine les milliers de petits dispositifs d'alimentation en eau qui existent, on est surpris par le nombre d'éléments répétitifs : puits, ouvrages de prise d'eau, réservoirs d'eau, bâtiments des pompes, etc... Des économies substantielles peuvent être faites en utilisant des dispositifs et des techniques de construction standardisés. En plus, les coûts peuvent aussi être réduits en recourant à des techniciens formés à la mise en oeuvre de dispositifs répétitifs, limitant ainsi le nombre des ingénieurs professionnels.

Une approche avantageuse a été développée en Amérique Latine. Dans cette approche, le programme est subdivisé - promotion communautaire, conception technique, financement de programme, etc... - et chacune des parties est considérée pour ses effets sur les autres. Un programme est mis en oeuvre qui incorpore ces éléments dans la solution à moindre coût qui utilisera au mieux les ressources du programme (main d'oeuvre, finances, technologie et gestion). Il est évident que, étant donné qu'un programme rural d'alimentation en eau peut répéter de nombreuses tâches dans des milliers de villages - dans certains pays, dans des dizaines des milliers de villages - la mise en oeuvre de conceptions standardisées devient une nécessité.



WHO Photo

Figure 2.1.
Eau, santé et développement

Ces conceptions peuvent permettre d'appliquer des techniques de construction rapides et efficaces, à travers un travail répétitif, en recourant à des artisans relativement peu compétents avec un équipement et des plans standardisés. Une conception unifiée constitue un élément essentiel. Les économies dans les coûts de planification et de contrôle feront certainement plus que compenser l'insuffisance technique qui résulte d'une certaine manière d'une telle conception. Il est possible de concevoir une forme très simple de recherche qui permettra à un technicien ou à un hygiéniste de rassembler en une journée des informations relatives à un petit projet d'alimentation en eau, qui soient suffisantes pour permettre la mise en oeuvre d'un certain type de solution. Il faudra choisir des critères standard de conception, prévoir la mise en oeuvre de certains éléments conçus a priori (réservoirs, bâtiments de pompes...) et préparer un catalogue d'équipements uniformes. Une fois qu'un ingénieur aura revu la conception d'un projet particulier, les matériaux seront rassemblés dans un entrepôt central et envoyés à la collectivité avec tous les outils nécessaires et les éléments non disponibles localement. Des professionnels mettront également au point des techniques et des stratégies destinées à impliquer la collectivité. Elles seront mises en forme en tant que modules de travail concernant chaque phase, et utilisées dans la formation du personnel disponible pour assurer sa promotion au niveau local. La conception des modules techniques et des modules visant à impliquer la collectivité est déterminée dans le contexte du programme général.

2.2 Gestion et supervision

Le tableau suivant figure les fonctions principales exécutées aux niveaux national, provincial et local. Dans certains pays, les programmes provinciaux sont prévus pour être mis en oeuvre de manière autonome mais ils sont liés au programme national par l'utilisation de critères standard, par leur conception et par l'assistance financière.

Tableau 2.1.

Responsabilités aux différents niveaux de l'administration

NIVEAU	FONCTIONS
National	<ul style="list-style-type: none"> - Planification à long terme - Etablissement de la politique (technique et administrative) et de normes - Gestion des fonds nationaux et combinaison de ces fonds avec les contributions locales - Supervision de l'exécution du plan national - Supervision des programmes provinciaux - Contrôle général financier - Fourniture d'une assistance technique - Formation
Provincial (et du district)	<ul style="list-style-type: none"> - Aménagement d'un programme - Conception - Construction, administration des projets - Promotion de la participation communautaire
Local	<ul style="list-style-type: none"> - Administration des dispositifs d'alimentation en eau des collectivités - Fonctionnement et entretien - Collecte des taxes pour l'utilisation de l'eau

Il ne sera pas possible d'inclure toutes les petites communautés rurales existantes dans un programme national ou provincial d'alimentation en eau. Un choix devra être fait qui évoluera et sera mis à jour périodiquement. Le critère de sélection et l'ordre de priorité pour la réalisation de projets seront déterminés aux niveaux national ou provincial en prenant compte tous les facteurs.

L'objectif de tout programme rural d'alimentation en eau doit être aussi spécifique que possible. Par exemple, "toutes les collectivités de 500 personnes ou davantage, et 50 % des plus petites collectivités auront une alimentation en eau potable à une distance ne dépassant pas 500 m. de chaque maison individuelle, dans un délai de 8 ans". Ou "le but est de fournir de l'eau potable à 90 % des collectivités rurales des districts A et B dans un délai de 22 mois". Par contre, l'objectif suivant "l'amélioration de l'alimentation en eau des petites collectivités" est trop vague.

Un important engagement financier sur le programme au niveau politique national est essentiel pour que le programme puisse s'accomplir dans un cadre à long terme. Il est souvent nécessaire de fournir des subsides pendant un certain temps jusqu'à ce que les collectivités desservies par les nouveaux dispositifs apprécient les avantages d'une alimentation convenable d'eau potable. Une fois que la population a compris cela, le processus fait l'objet d'un développement continu, le service de base arrivant, il faut l'espérer, à un niveau où il est à la fois soutenu par la collectivité et se suffit à lui-même sur le plan financier.

La gestion, le fonctionnement et l'entretien d'un dispositif d'alimentation en eau sont des points qui doivent faire l'objet des préoccupations des politiciens et des ingénieurs de conception depuis les premières étapes de la planification. L'exposé suivant résume cela de manière éloquente (Wagner et Lanoix, 1959).

"L'ingénieur qui procède aux investigations préliminaires sur le terrain et conçoit les installations, peut, par ses décisions, faciliter ou compliquer le fonctionnement futur et les problèmes d'entretien. Cela dépendra de ce qu'il recherche : une solution simple, ou la meilleure solution possible. Souvent, parce que l'on est pressé, ces études sont moins minutieuses qu'elles ne doivent l'être. L'ingénieur, chargé des recherches sur le terrain et de la conception, a la responsabilité d'une des phases les plus importantes qui pèse lourdement sur le fonctionnement futur du projet".

"Si, par un travail minutieux il peut éliminer une pompe, un appareil, un élément d'équipement, ou un processus de traitement, il élimine de ce fait un obstacle possible à un fonctionnement efficace. La compréhension des problèmes que pose le fonctionnement des petites installations d'eau, la persévérance dans la recherche des solutions simples, et la vigilance apportée dans l'approbation des projets sont les meilleurs moyens que l'on puisse mettre en oeuvre pour faciliter le fonctionnement et l'entretien de ces installations et, ainsi, pour leur permettre de bien remplir leur rôle."

"Du point de vue administratif, une gestion correcte d'un dispositif d'alimentation en eau, si petit soit-il, exige des dépenses pour son fonctionnement, du personnel et une organisation du service. Ces dispositifs sont sous le contrôle des autorités locales; des discussions doivent être ouvertes avec elles aussi tôt que possible et on doit être très avancé dans les accords lorsqu'on arrive au stade de la construction. Les négociations ne sont pas toujours faciles, car certaines autorités officielles, qu'elles soient élues ou nommées, voudraient garder jalousement leur pleine autorité, même si elles n'ont jamais eu aucune expérience dans la gestion d'une alimentation en eau".

2.3 Main d'oeuvre et formation

L'importance du personnel nécessaire pour gérer et faire fonctionner un petit dispositif d'alimentation en eau dépend beaucoup de la structure de ce dispositif, du fait qu'il existe ou non une station de traitement d'eau ou une station de pompage. On n'est pas certain de trouver le personnel qualifié dans les petites villes et dans les villages. Cependant, il sera souvent possible de recruter et de former de futurs bons employés pour, à la fois, les tâches administratives et les tâches techniques. Une méthode qui a fait ses preuves consiste à utiliser la période de construction pour choisir et former le personnel de base qui, plus tard, sera responsable de l'exploitation. Durant cette phase, il apprend à connaître la structure et le fonctionnement du dispositif. De cette manière, il peut mieux comprendre et assurer de façon plus satisfaisante le travail d'entretien que l'on attend de lui.

Le choix effectif de ces hommes peut, dans certains cas, être délicat d'autant que leur embauche peut relever de la compétence normale du gouvernement local. Moyennant tact et compréhension, il doit être cependant possible de trouver des candidats qui pourront être admis par les autorités locales et qui possèdent les qualifications minimales exigées.

La difficulté essentielle résidera dans l'utilisation d'un personnel sous-qualifié. Alors que les gestionnaires et les ingénieurs expérimentés en matière d'équipement des collectivités devraient assurer la gestion du programme, leur tâche sera si grande (et ils sont en général si peu nombreux) qu'ils devront consacrer leur temps à diriger, planifier, revoir et superviser le programme. Un groupe spécial de techniciens et/ou d'hygiénistes insuffisamment qualifiés devra être formé pour assurer les contacts quotidiens avec la collectivité, la collecte des données sur de terrain, la prospection et la recherche des ressources d'eau, la préparation de plans d'installations à caractère répétitif, aussi bien que les visites d'inspection aux installations déjà construites.

Dans les petites entreprises, chaque personne assumant une fonction de supervision doit assumer toute une série de fonctions et, sans une formation correcte, il est condamné à être inefficace dans n'importe quelle fonction. La formation est, ainsi, particulièrement importante pour la main d'oeuvre engagée dans les petits dispositifs d'alimentation en eau des collectivités.

La formation doit s'appuyer sur les aspects pratiques des sujets abordés et doit inclure un minimum de cours théoriques. Le programme de formation doit aboutir, lorsque les circonstances le permettent, à des examens conduisant à des certifications consacrant les techniciens et les opérateurs des installations d'alimentation en eau, certifications comportant plusieurs degrés pour chaque catégorie de personnel. Un tel programme, qui peut être entrepris en collaboration avec les autorités locales existant dans le domaine de l'éducation, assurera une émulation chez le personnel qui permettra d'assurer sa promotion technique et son accès à des postes de plus grande responsabilité.

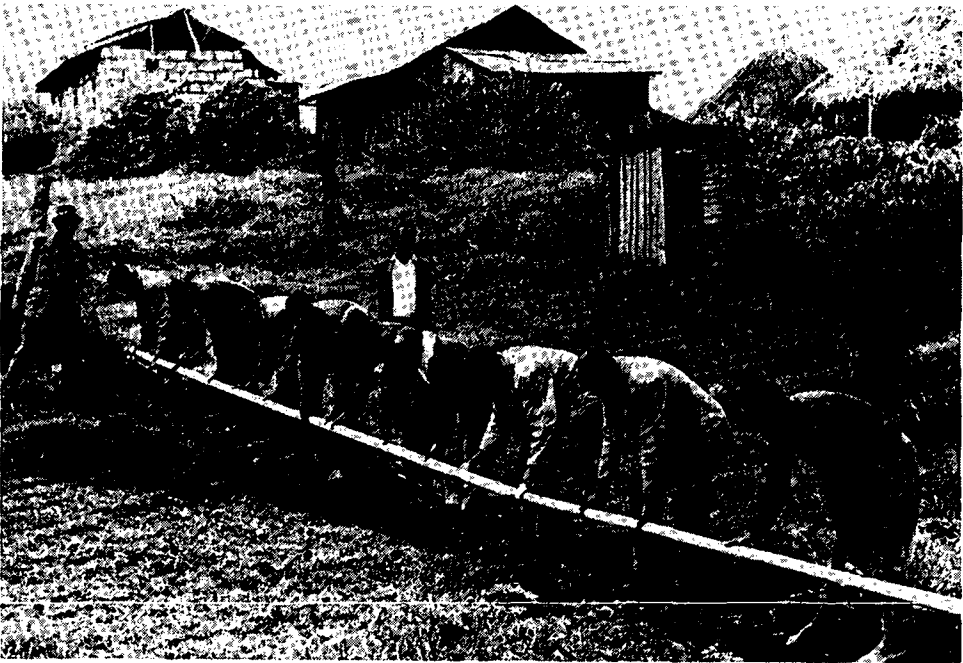
On ne peut trop insister sur la nécessité de développer dans l'esprit de chaque travailleur qu'il soit un employé de bureau ou un homme de terrain, l'idée qu'il est au service de la collectivité. L'administration et la mise en oeuvre d'un dispositif d'alimentation en eau doivent, quelle que soit sa taille, viser à la fourniture d'un service satisfaisant pour le consommateur. Dans de nombreuses zones rurales, ce sera une idée toute nouvelle. Il arrive souvent que les ruraux ou les habitants des petites villes ne considèrent pas que les services publics soient des institutions desquelles les populations puissent attendre ou auxquelles elles puissent demander un service. Pour eux, l'alimentation en eau peut être considérée comme on considère le service postal : pauvre et intermittent. Leur attitude sera des plus complaisantes. Beaucoup d'efforts sont à faire de la part de l'agence responsable pour que l'on puisse être assuré que ni la population desservie ni les employés de l'installation d'alimentation en eau ne manifestent cette sorte de comportement. L'objectif doit être de faire comprendre aux employés l'importance qu'il y a d'assurer un service satisfaisant aux consommateurs et quels sont, à cet égard, leur rôle et leur responsabilité. D'autre part, il doit se développer chez la population un sentiment de propriété et de fierté pour son installation d'alimentation en eau; elle doit comprendre qu'elle a le droit de demander un service. Ces processus ne sont ni simples ni rapides. Cependant, une fois établi, le concept de service public se développera et sera plus généralement accepté. Les premiers temps seulement risquent d'être difficiles.

2.4 Implication de la collectivité

On n'est pas du tout certain que la collectivité acceptera un petit dispositif d'alimentation en eau. Les utilisateurs peuvent ne pas être satisfaits par l'alimentation fournie, si elle ne correspond pas à leur attente. De longues files d'attente pour avoir de l'eau, un service intermittent, des insuffisances d'alimentation, plus ou moins longtemps chaque jour, posent souvent des problèmes. Les ingénieurs et les techniciens vont parfois dans les petites collectivités, installent des dispositifs d'alimentation en eau, et espèrent que les villageois les utiliseront soigneusement pendant longtemps. Trop souvent, les bénéficiaires ne sont pas consultés sur la conception, la construction, l'utilisation et l'entretien des installations. Il est difficile, sinon impossible, de parvenir à un fonctionnement continu d'une petite installation d'eau sans aucune implication de la collectivité. Si les installations ne sont pas

acceptées et prises en charge par la collectivité, elles seront mal utilisées, seront soumises à de petits vols, voire au vandalisme. Au contraire, il a souvent été observé que, moyennant une consultation et une information bien faite des populations, ces dernières peuvent être motivées et apporter leur aide dans l'établissement du planning, la construction, le fonctionnement et l'entretien des installations d'alimentation en eau intéressant leurs collectivités.

L'effet positif fourni par l'implication de la collectivité dans la mise en place d'un dispositif d'alimentation en eau peut être illustré par ce qui s'est passé au Malawi. La participation de la population locale y a été la clé du succès pour l'installation de conduites d'eau desservant plus de 150.000 villageois dans des zones ne disposant jusque là que de très peu d'eau, pour un coût d'environ 3 US dollars par personne seulement. Les villageois creusèrent toutes les tranchées, installèrent les conduites (fournies par le gouvernement et les agences d'aide), et construisirent des radiers en béton et des puisards d'infiltration. On a eu d'abord recours à des démonstrations sur pilotes à petite échelle, organisées dans le cadre de grandes réunions publiques dans lesquelles on pouvait discuter de tous les aspects des installations



UNICEF/WHO photo by Matheson

Figure 2.2.
Implication de la communauté dans la construction

projetées. Le projet avançant, on passa à l'idée "d'assistant de projet"; des cours de formation de trois semaines réunirent des hommes choisis avec attention par les collectivités pour assumer des responsabilités dans les installations.

Un examen des installations d'alimentation en eau existant dans les petites collectivités a montré que la participation, dès le début de la conception, contribue de façon importante au succès d'un projet. Le choix de la ressource en eau, le niveau de service et l'emplacement des installations d'alimentation sont, en particulier, des points sur lesquels la collectivité peut être impliquée de façon très positive. Une seconde considération visant à assurer une plus grande implication de la collectivité au niveau de la conception, à savoir la sauvegarde des intérêts des éléments les plus défavorisés, sera plus difficile à faire accepter. Cependant beaucoup des décisions prises à ce stade des opérations peuvent conduire à aggraver la situation de groupes déjà désavantagés. Des problèmes sociaux faisant obstacle à l'accès à la ressource, des pertes d'emploi, pour les femmes la disparition de contacts sur le plan social, la domination exercée par les élites locales dans l'organisation de l'eau peuvent résulter de la mise en place de nouvelles installations d'alimentation en eau.

L'implication de la collectivité dans la construction de petites installations d'alimentation en eau peut prendre de nombreuses formes. Les contributions locales en argent, en main d'oeuvre, en fourniture de matériaux, en matière de services et d'organisation diminueront l'investissement en capital et stimuleront les sentiments de fierté locale, les engagements financiers et les capacités de développement locaux; il sera alors possible de choisir et de former du personnel pour l'entretien des installations. Tout cela favorisera également une utilisation correcte de l'alimentation en eau par la population. Mais une telle implication de la collectivité peut entraîner une demande importante des ressources et du temps disponibles d'où pourront résulter des insuffisances dans la qualité de la construction, des retards, des difficultés dans le recrutement du personnel et des conflits locaux. D'une manière générale, une certaine implication de la collectivité dans la construction des installations est considérée comme nécessaire, mais le succès du recours à une main d'oeuvre locale dépend largement du type de technologie adoptée, des conditions locales et de la disponibilité des techniciens qui doivent assurer la supervision.

La délégation des tâches d'exploitation et d'entretien à une collectivité est plus fréquente aujourd'hui qu'elle ne l'était il y a quelques années. Ces responsabilités déléguées varient beaucoup, allant de la vérification et de l'établissement de rapports, ou d'un entretien routinier de base, à la formation d'ouvriers et de personnel chargé de l'exploitation. Il y a une variété considérable d'organisations à l'échelon local et de dispositions dans l'ordre administratif. On peut distinguer trois approches : Une approche standard, des aménagements individuels et une combinaison de ces deux approches. En Amérique Latine, on a employé une approche standard avec des procédures de sélection déterminées, une délégation formelle des

responsabilités et de l'autorité, complétées par des structures de formation et de contrôle. Ailleurs, des arrangements individuels sont courants, adaptés à l'organisation collective existante. Cependant, les aménagements manquent de base réglementaire et leur efficacité est souvent limitée. Comme compromis, une certaine souplesse peut être apportée à l'approche standard pour l'adopter au modèle local, social et culturel. Ceci est lié à des éléments tels que les procédures de sélection, la vue que l'on peut avoir de l'organisation collective, la répartition des responsabilités et de l'autorité.

Si l'on veut que la coopération entre la collectivité et l'organisation chargée de l'alimentation en eau ou le département de la santé soit efficace, les partenaires doivent être associés dans un plein échange d'informations et de vues. L'agence responsable de l'alimentation en eau doit viser à satisfaire les objectifs que la population souhaite atteindre avec l'installation d'alimentation en eau. L'éducation sanitaire peut constituer un élément important dans la motivation pour le projet et doit commencer aussitôt que possible. D'autre part, les conditions locales, les souhaits et les contraintes joueront également des rôles importants.



WHO Photo by D. Deriaz

Figure 2.3.
Education des populations dans le domaine de l'eau (Iran)

L'agence de l'eau aura ainsi besoin de recevoir des informations suffisantes sur les éléments socio-économiques et culturels de base de la collectivité.

Les informations sur le projet et l'éducation sanitaire générale prodiguées au cours de la phase de planification doivent être suivies par des efforts d'éducation plus spécifiques, tels que la formation en vue de l'accomplissement des tâches qui seront déléguées. Un programme d'éducation des utilisateurs peut commencer avant même que la construction des installations soit achevée. L'éducation sanitaire peut être poursuivie avec un programme plus spécifique portant sur l'hygiène personnelle et au niveau du ménage, l'hygiène publique et sur d'autres aspects liés à la santé. On a déjà insisté sur l'intégration de l'éducation sanitaire dans tout projet d'alimentation en eau. La fourniture et l'utilisation d'une eau pure ne produiront pas à elles seules un impact suffisant sur la santé. En général, il faudra également obtenir des améliorations dans le domaine des déchets, de la nutrition, de l'hygiène animale, de la maison, de la lutte contre les insectes et de la dératisation, de l'hygiène alimentaire. Dans certains pays les projets relatifs à l'eau font partie du programme de santé primaire, ou sont liés aux projets concernant la nutrition. Cependant, même lorsque les installations d'alimentation en eau sont planifiées et réalisées de manière indépendante, les ingénieurs doivent discuter avec la collectivité du rôle que l'eau peut jouer dans le développement local et ils doivent encourager les autres agences à lier leurs programmes au projet concernant l'eau.

2.5 Entretien

L'expérience montre que les petites installations d'alimentation en eau des collectivités sont souvent plus difficiles à conserver en état de marche qu'à construire. La nécessité d'un entretien est en général reconnue mais le travail effectif d'entretien est fréquemment négligé. Un principe de base dans la planification d'une petite installation d'alimentation en eau pour une collectivité doit être de garder présentes à l'esprit, dans la conception technique, les exigences de l'entretien du dispositif et des équipements. Les consignes d'entretien doivent être applicables, comme la conception technique doit avoir un bon rapport coût-efficacité et être adaptée aux conditions locales.

Deux facteurs sont à l'origine de la plupart des défaillances dans les petites installations d'alimentation en eau :

- a) L'équipement et les matériels sont utilisés dans des conditions pour lesquelles ils ne sont pas conçus.
- b) Les opérateurs, du fait de leur ignorance ou du manque d'intérêt qu'ils portent aux installations, ne savent pas reconnaître les symptômes qui précèdent les défaillances et les pannes.

L'opérateur type d'une petite station de traitement d'eau supervise également ou s'occupe lui-même de diverses activités : réalisation des branchements, relevés des compteurs, réponses aux plaintes, commande des matériels et des équipements nécessaires. Il doit également

discuter avec l'équipe municipale, le chef du village ou le comité de l'eau. Il a bien de la chance si sa rétribution atteint la moitié de celle qu'il mériterait; les préposés des petites stations d'alimentation en eau n'ont que des ressources limitées et doivent cependant accomplir des tâches qui excèdent leurs attributions normales. Ils n'ont en général que peu d'aide et ne bénéficient pas d'une grande considération. Et cependant, ils doivent accomplir leur travail de manière qu'on ait confiance en eux.

Grâce à une vérification attentive de la station, de sa conception et des spécifications, l'agence d'alimentation en eau peut prévenir ou éliminer de nombreuses difficultés de nature mécanique. Il est plus compliqué de diminuer les ennuis imputables à l'élément humain. Mais on peut faire beaucoup, ainsi qu'il a été indiqué précédemment, avec la formation du personnel de terrain, l'assistance technique et la supervision.

Les raisons suivantes sont particulièrement importantes pour obtenir un fonctionnement et un entretien corrects.

L'effet sur la santé des utilisateurs d'une installation d'alimentation en eau, qui fonctionne mal, peut être difficile à quantifier, mais de nombreuses études et contrôles ont montré l'influence d'une eau polluée sur les maladies intestinales. Les améliorations de la situation sanitaire qui peuvent résulter d'une alimentation en une eau saine sont perdues lorsque l'installation tombe en panne.

Dans les petites collectivités rurales et dans les installations urbaines de marginaux, où la fourniture d'une eau saine est très importante, la mise en service d'une nouvelle alimentation en eau est souvent un événement majeur. Fréquemment, cet événement constitue l'un des éléments de l'éducation sanitaire des utilisateurs visant une utilisation de l'eau conforme aux règles d'hygiène. Si l'installation en vient à ne plus fonctionner, les chances d'améliorer les pratiques sanitaires de la collectivité seront perdues pour des mois, si ce n'est des années. De plus, si l'installation d'alimentation en eau a été construite avec des contributions de la collectivité, en nature ou en argent, la population considérera probablement la défaillance du dispositif comme une preuve que leur contribution n'a servi à rien. Il est très probable qu'elle ne voudra plus coopérer ultérieurement avec l'agence d'alimentation en eau ou le gouvernement.

Les faits qui viennent d'être mentionnés sont difficiles à analyser du point de vue strictement économique. Cependant, on peut tenter d'évaluer comme il suit l'impact économique.

Un pays peut avoir quelque 10.000 petites installations d'alimentation en eau pour les collectivités, représentant un investissement moyen d'environ 30.000 US dollars pour chacune. Si seulement 75 % de ces installations fonctionnent, 2.500 sont en panne à un instant donné. Si une amélioration de l'entretien assure le fonctionnement de 1.500 de ces 2.500 installations, cela équivaudra à un investissement en capital de 45 millions US dollars ! De plus, l'expérience montre que des installations restant hors d'état de fonctionner pendant plusieurs jours

risquent de souffrir de petits vols et de vandalisme . Il est fréquent que divers éléments d'équipement soient volés. Aussi, il ne faut pas seulement considérer les inconvénients et les risques de maladie qui sont encourus du fait de la défaillance des installations, mais également les pertes d'équipement, de pièces détachées et de matériaux de construction qui peuvent en résulter.

La responsabilité primaire pour le fonctionnement continu et l'entretien d'une petite installation d'alimentation en eau repose sur la collectivité, au niveau local, soutenue par le district et le programme national d'alimentation en eau. Un bon exemple est donné par l'Etat du Tamil Nadu, en Inde, où un dispositif d'entretien à trois niveaux a été établi. Depuis 1971, environ 15.000 pompes à main pour puits profonds ont été installées avec un nombre sensiblement égal de pompes à main pour puits peu profonds qui desservent les villages dans les zones rurales de l'Etat. Le système à trois niveaux vise l'entretien de ces puits et de ces pompes.

Il comprend le personnel de service suivant :

1) Préposé au niveau du village

Un volontaire intéressé et compétent, habitant en général au voisinage de la pompe à main, est choisi parmi les villageois. Ce peut être un fermier, un épicier, un artisan ou un travailleur. Il a suivi une formation de deux jours orientée sur l'importance de l'alimentation en eau potable et sur le mécanisme, le fonctionnement et l'entretien des pompes à main. Il est formé pour les réparations mineures et possède des outils de base. Il possède également des cartes pré-timbrées et munies d'adresses dans la langue du pays. Lorsqu'il survient une panne, le préposé essaie de la réparer. S'il ne peut le faire, il indique le type de réparation à effectuer sur deux cartes postales, une qu'il poste à l'adresse du mécanicien de groupe et l'autre à l'adresse de l'équipe mobile du district. Jusqu'à maintenant quelque 2.000 préposés ont été formés dans l'Etat de Tamil Nadu.

2) Le mécanicien au niveau du groupe

Un mécanicien est établi au niveau d'un groupe de 100 pompes. Il est contrôlé par le chef du Développement du Groupe. Lorsqu'il reçoit une demande du préposé, le mécanicien se rend au village et essaie de réparer, si le problème se pose dans la partie supérieure du mécanisme.

3) Equipe mobile au niveau du district

En cas de nécessité, pour les réparations majeures, c'est l'équipe mobile au niveau du district qui se rend au village après avoir reçu la carte postale. Il y a une telle équipe pour 1.000 pompes à main; l'intervention de l'équipe exige alors souvent un délai d'une semaine ou davantage. Pour réduire cette attente, le Gouvernement du Tamil Nadu recommande maintenant qu'il y ait une telle équipe pour un ensemble de 500 pompes. Toutes les dépenses de réparation sont prises en charge par le gouvernement ou les "gram panchayats" locaux (conseils de village).

Certaines défaillances de la station d'alimentation en eau et des équipements sont inévitables en dépit des mesures qui ont pu être prises pour l'entretien. Afin de remédier à de telles défaillances efficacement et dans un délai minimum, il convient de mettre en place le dispositif suivant :

- Installation d'ateliers

- Stock suffisant de pièces détachées
- Equipe technique
- Moyens de communication
- Annuaire d'adresses avec les noms des firmes et des fournisseurs
- Programme de formation.

2.6 Interventions d'urgence

Chaque installation d'approvisionnement en eau d'une collectivité, quelle que soit sa taille, doit avoir un plan d'interventions d'urgence à mettre en application dans des situations telles que les tremblements de terre, les inondations ou les dommages de guerre. Il doit être reconnu que, dans de telles circonstances, l'eau est probablement le besoin le plus urgent de la population qui utilisera n'importe quelle source disponible, polluée ou non, à moins que des dispositions ne soient rapidement prises pour lui fournir une eau saine. Il est recommandé que très vite après l'installation d'une nouvelle installation d'alimentation en eau, ou même avant, un bon inventaire soit établi de la totalité des ressources en eau disponibles, publiques ou privées. Cet inventaire doit comprendre les ressources disponibles en personnel, en équipement d'urgence, les pompes à main et à moteur, les camions citernes, les accessoires de la canalisation, les unités filtrantes mobiles ou portables, les outils et les pièces détachées, les produits chimiques (spécialement ceux qui concernent la désinfection de l'eau).

Durant la période d'urgence, un minimum de deux litres d'eau par personne doit être fourni quotidiennement pour la boisson et trois litres pour d'autres usages, dans des endroits tels que des abris temporaires. Dans les camps de tentes, un minimum de dix litres par personne doit être fourni. Cette quantité doit être doublée pour l'alimentation des hôpitaux temporaires et des stations de première aide. Alors que l'on peut considérer comme pures les alimentations à partir des eaux souterraines provenant de puits construits correctement, de galeries d'infiltration, et de sources captées, toute eau de surface doit être considérée de qualité douteuse. Elle doit être désinfectée par ébullition, chloration ou en utilisant des composants iodés. Le chlore résiduel libre dans une eau suffisamment claire ne sera pas, en période d'urgence, inférieur à 0,5 mg/l après 30 minutes de contact pour de l'eau qui n'a pas été filtrée.

Planification et gestion

Bainbridge, M.; Sapirie, S.
HEALTH PROJECT MANAGEMENT
A Manual of Procedures for Formulating and Implementing Health Projects
World Health Organisation, Geneva, 1974
(WHO Offset Publication No. 12)

Barker, H.W.
ASSESSMENT OF MANPOWER NEEDS AND TRAINING PROGRAMMES
In : International Training Seminar on Community Water Supply
in Developing Countries
International Reference Centre for Community Water Supply
The Hague, 1977 (Bulletin No. 10)

Cairncross, S.; Carruthers, I.; Curtis, D.; et al
EVALUATION FOR VILLAGE WATER SUPPLY PLANNING
International Reference Centre for Community Water Supply
The Hague, 1980, 175 p. (Technical Paper Series No. 15)

Campbell, S.; Lehr, H.
RURAL WATER SYSTEMS PLANNING AND ENGINEERING GUIDE
National Water Well Association, New York, 1973

Donaldson, D.
PLANNING WATER AND SANITATION SYSTEMS FOR SMALL COMMUNITIES
In : International Training Seminar on Community Water Supply
in Developing Countries (Amsterdam, 1976)
International Reference Centre for Community Water Supply
The Hague, 1977 (Bulletin No. 10, pp. 71-105)
Also presented as :
LA PLANIFICACION DE SISTEMAS DE AGUA Y SANEAMIENTO PARA PEQUENAS COMUNIDAS
In : Curso Corto de Planificacion y Programacion de Saneamiento
Bsico Rural (Managua, Nicaragua, November 1977)
Panamerican Health Organisation, Washington D.C., 1978

Imboden, N.
PLANNING AND DESIGN OF RURAL DRINKING WATER PROJECTS
OECD Development Centre, Paris, 1977, 51 p.
(Occasional Paper No. 2)

Kantor, Y.
RESEARCH, TRAINING AND TECHNOLOGY ASPECTS OF RURAL WATER
SUPPLY AND SANITATION IN DEVELOPING COUNTRIES
World Bank, 85 p.

Pacey, A. (Ed.)
TECHNOLOGY IS NOT ENOUGH : THE PROVISION AND MAINTENANCE OF
APPROPRIATE WATER SUPPLIES
In : Water Supply & Management, Vol. 1 (1977), No. 1, pp. 1-58

Wijk-Sijbesma, C. van
PARTICIPATION AND EDUCATION IN COMMUNITY WATER SUPPLY AND
SANITATION PROGRAMMES (2 volumes)
International Reference Centre for Community Water Supply
The Hague, 1979, 1980
- A selected and Annotated Bibliography, 238 p.
(Bulletin Series No. 13, 1980)
- A literature Review, 204 p. (Technical Paper No. 12, 1979)

Pisharoti, K.A.
GUIDE TO THE INTEGRATION OF HEALTH EDUCATION IN ENVIRONMENTAL
HEALTH PROGRAMMES
World Health Organisation, Geneva, 1975

Schaefer, M.
THE ADMINISTRATION OF ENVIRONMENT HEALTH PROGRAMMES :
A SYSTEMS VIEW
World Health Organisation, Geneva, 1974
(Public Health Paper No. 59)

Stanley, S.
BETTER PLANNING IS THE KEY
In : Reports, 6 (1977) 3
International Development Research Centre, Ottawa, 1977

Wagner, E.G.; Lanoix, J.N.
WATER SUPPLY FOR RURAL AREAS AND SMALL COMMUNITIES
World Health Organisation, Geneva, 1959, 337 p.
(Monograph Series No. 42)

WATER AND COMMUNITY DEVELOPMENT
In : Assignment Children 1976, No. 34, (April-June)
UNICEF, Geneva

White, G.F.
DOMESTIC WATER SUPPLY IN THE THIRD WORLD
A paper presented at the IAWPR Symposium :
"Engineering, Science and Medicine in the Prevention of Tropical
Water Related Diseases"; London, December 1978
In : Progress in Water Technology, Vol. 2 (1978)
Nos 1 and 2, pp. 13-19

Whyte, A.
TOWARDS A USER-CHOICE PHILOSOPHY IN RURAL WATER SUPPLY PROGRAMMES
Assignment Children 1976, No. 34 (April-June)
UNICEF, Geneva

3. quantité et qualité de l'eau

3.1 Utilisation et consommation de l'eau

Selon le climat et l'intensité de son travail, le corps humain a besoin d'environ 3 à 10 litres d'eau par jour pour un fonctionnement normal. Une partie de cette eau est absorbée au cours des repas. L'utilisation de l'eau pour la préparation des aliments et leur cuisson est relativement constante. La quantité d'eau utilisée pour d'autres besoins varie de façon importante; elle est très influencée par le type du dispositif d'alimentation en eau et par la disponibilité de celle-ci. Les facteurs influençant l'utilisation de l'eau sont les habitudes culturelles, les normes et les modes de vie, l'utilisation qui est faite de l'eau, ainsi que son coût et sa qualité.

L'utilisation domestique de l'eau comporte les usages ci-après :

- boisson
- préparation et cuisson des repas
- nettoyage, lavage et hygiène personnelle
- arrosage des plantations
- stockage de l'eau
- autres utilisations comprenant l'évacuation des déchets de la vie.

Les branchements particuliers procurent un service de niveau supérieur à celui d'un robinet placé dans la cour de la maison (branchement dans la cour), ce qui est en général, à son tour, préféré à un point d'eau communal tel qu'un puits de village ou une borne-fontaine. Dans le choix du dispositif d'alimentation en eau, le prix est, en général, un facteur important; le choix dépend également du lieu d'implantation et de la taille de la collectivité, des conditions géographiques et de la ressource en eau disponible.

Les données concernant l'utilisation et la consommation de l'eau s'expriment en litres par tête d'habitant et par jour (l/h/j) (1). Quoique ces données négligent le fait que la consommation d'eau d'un ménage est essentiellement déterminée par une utilisation partagée par les membres d'une famille (par exemple : cuisine, nettoyage), les données d'utilisation quotidienne par habitant sont utilisées pour des estimations grossières de la demande d'eau d'une collectivité.

Le tableau 3.1. fournit les données théoriques d'utilisation de l'eau domestique fournies pour différents systèmes d'alimentation.

(1) Il est préférable d'exprimer les données d'utilisation de l'eau par habitant en unités du système métrique.

Tableau 3.1.
Usages domestiques de l'eau - Données théoriques

Types de systèmes d'alimentation	Utilisation théorique de l'eau (litres/hab./jour)	Fourchette (l/hab/j)
Point d'eau communal (par exemple : puits villageois borne fontaine publique)		
- à une grande distance (> 1.000 m.)	7	5 - 10
- à une distance moyenne (500-1.000 m.)	12	10 - 15
Puits villageois		
- à distance de marche < 250 m.	20	15 - 25
Borne fontaine communale		
- à distance de marche < 250 m.	30	20 - 50
Branchement dans la cour (robinet placé dans la cour de la maison)	40	20 - 80
Branchement particulier		
- robinet unique	50	30 - 60
- robinets multiples	150	70 - 250

Parfois, il est plus facile de déterminer le nombre de ménages (familles) dans une collectivité que le nombre d'invidus; l'utilisation domestique de l'eau peut alors être calculée en estimant une taille moyenne pour chaque famille.

De façon générale, l'eau distribuée est utilisée à des usages autres que strictement domestiques; dans de tels cas, il faut prévoir des quantités supplémentaires pour ces autres usages. Le tableau 3.2. donne des indications à ce propos.

Tous les chiffres mentionnés ne sont à utiliser qu'au moment de la conception initiale de la planification. Ils servent alors de guide. Pour le projet définitif, il faut disposer d'éléments supplémentaires fournissant des informations plus précises sur la zone concernée. Des études sont à réaliser sur des installations d'alimentation en eau desservant de petites collectivités de la région, qui fourniront des données très utiles sur l'utilisation effective de l'eau. Des mesures sur le terrain sont d'autre part à faire dès que possible.

Il est très difficile d'estimer exactement la demande future en eau d'une collectivité et l'ingénieur de conception doit faire preuve, dans son analyse, de beaucoup de jugement.

Tableau 3.2.
Besoins en eau pour diverses utilisations

Catégories	Utilisation de l'eau Quantité théorique
- Ecoles	
. Externats	15 - 30 l/jour/élève
. Internats	90 - 140 l/jour/élève
- Hôpitaux (avec buanderies)	220 - 300 l/jour/lit
- Hôtels	80 - 120 l/jour/client
- Restaurants	65 - 90 l/jour/couvert
- Mosquées	25 - 40 l/jour/visiteur
- Cinémas	10 - 15 l/jour/place
- Bureaux	25 - 40 l/jour/personne
- Gares et gares routières	15 - 20 l/jour/usager
- Cheptel	
. bovins	25 - 35 l/jour/tête
. chevaux et mulets	20 - 25 l/jour/tête
. moutons	15 - 25 l/jour/tête
. porcs	10 - 15 l/jour/tête
- Poulailier	
. poulets	15 - 25 l/jour/100 têtes

Les données figurant dans les tableaux ci-dessus incluent environ 20 % pour les fuites et les pertes d'eau. S'il y a des fuites considérables ou des prélèvements non autorisés, les quantités d'eau nécessaires seront évidemment plus importantes. Dans certains cas, ces pertes peuvent attendre 30 à 50 % de la quantité d'eau totale.

Afin de tenter une estimation, une installation d'alimentation en eau pour une collectivité plus ou moins centralisée nécessiterait une fourniture d'eau de :

- environ 0,3 l/sec. pour 1.000 personnes lorsque l'eau est surtout distribuée par des bornes fontaines publiques.
- environ 1,5 l/sec. (ou plus) pour 1.000 personnes lorsqu'il y a prédominance de branchements particuliers (maison ou cour).

Afin de prévoir les accroissements futurs de la population, et une utilisation plus importante de l'eau par individu (ou par ménage), le réseau d'alimentation en eau d'une collectivité doit avoir la possibilité de fournir des quantités d'eau supplémentaires suffisantes.

La conception du dispositif repose sur :

- la demande quotidienne en eau estimée pour une période spécifique (la "période de conception"), par exemple 10 ans;

- ou
- la demande actuelle augmentée 50 %;
- ou
- la demande calculée sur la base d'une croissance estimée de la population.

On trouvera dans le tableau 3.3. l'estimation de ce facteur de croissance.

Tableau 3.3.
Facteur de croissance de la population

Période de conception (années)	Taux de croissance annuelle			
	2 %	3 %	4 %	5 %
10	1,22	1,34	1,48	1,63
15	1,35	1,56	1,80	2,08
20	1,49	1,81	2,19	2,65

Le réseau d'alimentation en eau d'une collectivité doit être également capable de fournir la demande horaire maximale ou la demande de pointe d'une journée (voir chapitres 18 "Adduction d'eau" et 19 : "Distribution de l'eau").

3.2 Qualité de l'eau

La relation existant entre la qualité de l'eau et ses effets sur la santé a été étudiée pour de nombreuses eaux. Un examen de la qualité d'une eau consiste essentiellement dans une détermination des organismes et des composants, minéraux ou organiques, contenus dans l'eau.

Pour qu'une eau puisse être considérée comme potable, elle doit être :

- Exempte d'organismes pathogènes (provoquant des maladies).
- Sans aucun composant ayant des effets immédiats ou à long terme sur la santé humaine.
- Très claire (c'est-à-dire faible turbidité, faible coloration).
- Non salée.
- Sans composants pouvant induire un goût ou une odeur désagréable et elle ne doit provoquer aucune corrosion ou dépôt incrustant dans le réseau d'alimentation; elle ne doit pas tâcher les vêtements lorsqu'on l'utilise pour la lessive.

Pour leur application pratique dans les techniques de l'ingénieur, les résultats des études et des recherches sur les caractéristiques de l'eau potable doivent être consignés dans des directives pratiques. En général, ces directives figurent dans un tableau donnant, pour un certain nombre de paramètres choisis pour définir la qualité de l'eau, le meilleur niveau souhaitable et le niveau le moins bon qui puisse être admis. De telles valeurs ne doivent être considérées que comme des indications et ne sont pas à prendre comme des standards absolus.

Le paramètre le plus important de la qualité de l'eau potable est la qualité bactériologique, par exemple la teneur en bactéries et en virus. Il n'est pas possible de rechercher tous les organismes que l'eau pourrait contenir; aussi on recherche dans l'eau des bactéries spécifiques qui se trouvent en grand nombre dans les excréta humains ou animaux et dont la présence dans l'eau est un indicateur de contamination fécale. Ces bactéries indicatrices doivent être spécifiquement fécales et ne pas pouvoir vivre isolées. Les bactéries fécales font partie d'un groupe beaucoup plus important de bactéries, les coliformes. De nombreux types de coliformes sont présents dans le sol. Les bactéries indicatrices de contamination fécale sont les coliformes connus sous le nom d'*Escherichia-coli* (E-coli), et de streptocoques fécaux. Elles se multiplient très facilement; lorsque l'on trouve ces bactéries dans l'eau, c'est qu'il y a une contamination fécale assez récente, et donc qu'il y a possibilité de présence de bactéries pathogènes et de virus. On peut utiliser l'une ou l'autre de ces bactéries (coliformes ou streptocoques), ou les deux, comme germes tests de contamination fécale.

Il y a des chances de trouver des germes tests dans presque toutes les installations d'alimentation en eau des petites collectivités. Il serait irréaliste de condamner toutes les adductions d'eau pour lesquelles on observe une certaine contamination fécale, surtout quand la ressource susceptible d'être utilisée en remplacement est beaucoup plus polluée. Plutôt que d'analyser la qualité bactériologique de l'eau, il convient d'examiner le niveau de la pollution fécale et l'importance de la contamination des ressources qui pourraient être utilisées en remplacement.

Les échantillons d'eau doivent être recueillis dans des bouteilles stériles en observant une procédure standardisée. Ils doivent être conservés à l'ombre et dans un endroit aussi frais que possible. Il est nécessaire de procéder à l'analyse bactériologique quelques heures seulement après la prise d'échantillons; sinon on ne pourrait pas faire confiance aux résultats.

Il existe deux méthodes pour rechercher les niveaux de coli et de streptocoques fécaux dans l'eau :

- la méthode du nombre le plus probable (N.P.P.)
- la méthode des membranes filtrantes.

Dans la méthode du nombre le plus probable, de petites quantités mesurées de l'échantillon d'eau sont incubées dans 5 à 10 petits flacons contenant un bouillon nutritif déterminé. Le nombre le plus probable (N.P.P.) peut être estimé sur la base du nombre de flacons dans lesquels se manifestent des signes de croissance bactérienne.

Dans la méthode des membranes filtrantes, l'eau est filtrée à travers une membrane en papier spécial qui retient les bactéries. La membrane est alors placée dans un milieu nutritif déterminé et incubée. Les bactéries se multiplient, formant des colonies visibles, qui peuvent être comptées. Le résultat est exprimé en nombre de bactéries pour 100 ml d'eau. Un comptage direct des coli fécaux et des streptocoques fécaux peut être fait respectivement en

24 et 48 heures. Il n'y a pas besoin de test confirmatoire pour vérifier l'espèce des bactéries comme dans la méthode du nombre le plus probable.

L'équipement et les produits nécessaires pour appliquer la méthode du nombre le plus probable pour les coli fécaux sont moins chers, et en général plus facilement disponibles dans les pays en voie de développement, que ceux qu'il faut avoir pour la méthode des membranes filtrantes. Le problème, lorsqu'on utilise la méthode du nombre le plus probable est, en ce qui concerne la recherche des streptocoques fécaux, que l'incubation de 5 jours qui est nécessaire n'est pas pratique. La méthode des membranes filtrantes est applicable à la fois pour les coli fécaux et les streptocoques fécaux. Elle donne des résultats qui peuvent être rapidement interprétés et qui sont très sûrs. Les tests sur membranes peuvent être réalisés sur le site, à l'arrière du véhicule. L'équipement pour la méthode du nombre le plus probable est fragile et exige des précautions spéciales durant le transport. En tenant compte de tous ces facteurs, la méthode des membranes filtrantes est à recommander.

Dans l'une ou l'autre de ces méthodes, les installations d'incubation constituent la contrainte principale. La difficulté est le contrôle exact de la température. Pour les coli fécaux, l'incubation doit être à une température exactement contrôlée de $44,5 \text{ }^\circ\text{C} \pm 0,2 \text{ }^\circ\text{C}$. Cette précision pour la température n'est pas facile à obtenir avec un incubateur dans les conditions de terrain, mais on a commercialisé des incubateurs spéciaux portables qui peuvent maintenir la température dans ces limites étroites. Ils sont relativement chers (plusieurs centaines de dollars) et exigent pour fonctionner une source d'énergie telle qu'une batterie de voiture. Si l'incubation avec un contrôle précis de la température n'est pas possible, il est recommandé de ne compter que les streptocoques fécaux. Pour cela, l'incubation doit être maintenue dans les limites $35^\circ\text{-}37^\circ \text{C}$, ce qui peut être plus facile à obtenir.

Lorsque c'est possible, on doit tester à la fois les coli et les streptocoques fécaux. Ceci fournira une vérification importante de la validité des résultats. Cela permet aussi de procurer une base pour calculer dans quel rapport les deux bactéries sont présentes; à partir de cela on peut tenter de conclure sur l'origine humaine ou animale de la pollution fécale.

Les critères suivants de qualité bactériologique sont généralement appliqués pour les petites distributions d'eau potable :

- . Coliformes (nombre moyen présents dans l'échantillon d'eau) - moins de 10 pour 100 ml (1)
- . E. Coli - moins de 2,5 pour 100 ml (1)

Il y a des cas où l'eau d'un réseau d'alimentation d'une collectivité est bactériologiquement acceptable, mais ne peut cependant constituer une eau de boisson étant donné l'excès

 (1) Déterminé statistiquement comme le nombre le plus probable (N.P.P.) ou mesuré par le comptage sur la membrane.

d'éléments organiques ou minéraux. Les problèmes principaux sont posés par le fer et le manganèse, le fluor, les nitrates, la turbidité et la couleur.

Le tableau 3.4. exprime les directives applicables pour un certain nombre de paramètres de qualité de l'eau.

Ces paramètres doivent toujours être appliqués en faisant preuve de bon sens, en particulier dans les petites collectivités et les villages pour lesquels le choix de la ressource et les possibilités de traitement sont limitées. Les critères ne doivent pas être considérés en eux-mêmes comme la base du rejet d'une ressource en eau souterraine ayant pour le fer, le manganèse, les sulfates ou les nitrates des teneurs plus importantes que celles qu'indique le tableau. Une attention particulière doit être accordée aux substances toxiques comme les métaux lourds. Les eaux qui en comportent ne sont à admettre qu'après avoir obtenu l'avis d'un expert des services de santé.

Tableau 3.4.
Directives pour la qualité de l'eau de boisson

Paramètres de qualité de l'eau	Mesurés en	Niveau maximum souhaitable	Niveau maximum à ne pas dépasser
Solides en solution totaux (1)	mg/l	500	2000
Turbidité	FTU	5	25
Couleur	mg Pt/l	5	50
Fer	mg Fe ⁺ /l	0,1	1,0
Manganèse	mg Mn ⁺⁺ /l	0,05	0,5
Nitrate	mg NO ₃ ⁻ /l	50	100
Nitrite	mg N/l	1	2
Sulfate	mg SO ₄ ⁻ /l	200	400
Fluor	mg F ⁻ /l	1,0	2,0
Sodium	mg Na ⁺ /l	120	400
Arsenic	mg As ⁺ /l	0,05	0,1
Chrome (hexavalent)	mg Cr ⁶⁺ /l	0,05	0,1
Cyanure (libre)	mg CN ⁻ /l	0,1	0,2
Plomb	mg Pb /l	0,05	0,10
Mercure	mg Hg /l	0,001	0,005
Cadmium	mg Cd /l	0,005	0,010

(1) Ceci inclut les matières en suspension essentielles comme le SO₄⁻, et le Cl⁻, HCO₃⁻, le Ca⁺⁺, le Mg⁺⁺ et le Na⁺⁺. Les teneurs indiquées dépendent du climat, du type de nourriture, et du travail du consommateur. Dans quelques cas répertoriés, des personnes ont vécu des mois avec une eau ayant une teneur en matières dissoutes totales dépassant 5000 mg/l

De nombreux pays en voie de développement ont pour objectif dans leur pratique effective d'alimentation en eau de respecter le mieux possible les directives qui résultent des recommandations formulées par l'O.M.S.

L'organisme concerné, responsable de l'alimentation en eau, doit donc effectuer régulièrement les analyses nécessaires relatives à la qualité de l'eau mais les autorisations finales et les contrôles restent en cette matière du domaine des autorités responsables de la santé.



United Nations Photo

Figure 3.1.
Prise d'échantillon d'eau (Gabon)

Pour les petites installations d'alimentation en eau qui recourent fréquemment à des puits individuels, des forages ou des sources, les critères de qualité peuvent être moins sévères que ceux qui ont été donnés ci-dessus. Evidemment, dans tous les cas, tout doit être fait pour limiter les risques de contamination. Grâce à des mesures relativement simples, telles que le revêtement ou la couverture d'un puits, il devrait être possible de réduire la teneur de l'eau en bactéries (mesurée en nombre de coliformes) à moins de 10 pour 100 ml, même dans le cas d'une eau provenant d'un puits peu profond. Si ce résultat n'est pas atteint de manière régulière, si en particulier, on trouve de façon répétée des E-coli, il faut, en règle générale, condamner le dispositif d'alimentation (1).

Pour une interprétation correcte des analyses tant chimiques que bactériologiques pour des installations d'alimentation en eau de boisson, un contrôle sanitaire est essentiel. De nombreux risques potentiels peuvent être détectés par une étude attentive de la ressource en eau, des installations de traitement et du réseau de distribution. Aucune analyse bactériologique ou chimique ne peut remplacer une connaissance approfondie du dispositif d'alimentation en eau et des conditions dans lesquelles il doit fonctionner. Des échantillons ne représentent qu'un seul point dans le temps et, même lorsqu'ils sont prélevés et analysés régulièrement, ils ne peuvent déceler une contamination, spécialement lorsqu'elle est intermittente, saisonnière ou due au hasard.

L'annexe 1 comporte les directives pour les contrôles sanitaires et mentionne les éléments essentiels à examiner.

(1) Normes internationales pour l'eau de boisson (3ème édition), O.M.S., Genève 1971

Quantité et qualité de l'eau

Camp, T.R.
WATER AND ITS IMPURITIES
Reinhold Book Corp., New York, 1968

Chalapatiroa, U.
PUBLIC HEALTH ASPECTS OF VIRUSES IN WATER
In : Journal of the Indian Water Works Association, 1975, No. 1, pp. 1-7

Giroult, E.
ENSURING THE QUALITY OF DRINKING WATER
In : WHO Chronicle, 1977, No. 8, pp. 316-320

INTERNATIONAL STANDARDS FOR DRINKING WATER
World Health Organisation, Geneva, 3rd revised edition, 1971, 70 p.

LES VIRUS HUMAINS DANS L'EAU, LES EAUX USEES ET LE SOL
Organisation Mondiale de la Santé, Geneva, 1979
(Rapport Technique 639)

Pescod, M.D.; Hanif, M.
WATER QUALITY CRITERIA FOR TROPICAL DEVELOPING COUNTRIES
Asian Institute of Technology, Bangkok, 1972, 11 p.

Ponghis, G.
MINIMUM REQUIREMENTS FOR BASIC SANITARY SERVICES IN HUMAN
SETTLEMENTS IN DEVELOPING COUNTRIES
World Health Organisation, Geneva, 1972

Rajagopalan, S.; Shiffman, M.A.
GUIDE ON SIMPLE SANITARY MEASURES FOR THE CONTROL OF ENTERIC DISEASES
World Health Organisation, Geneva, 1974

SIMPLIFIED PROCEDURES FOR WATER EXAMINATION - A LABORATORY MANUAL
American Water Works Association, New York, 1975, 158 p.
(supplement published in 1977)

SURVEILLANCE OF DRINKING WATER QUALITY
World Health Organisation, Geneva, 1976, 135 p.
WHO Monograph Series No. 63

Tebbutt, T.H.Y.
PRINCIPLES OF WATER QUALITY CONTROL (2nd Edition)
Pergamon Press, 1977

White, J.F.; Bradley, D.J., White, A.U.
DRAWERS OF WATER : Domestic water use in East Africa
The University of Chicago Press, Chicago, 1972

4. les ressources en eau

4.1 Eau et hydrology

La première étape dans la conception d'une installation d'alimentation en eau est de choisir une ressource convenable ou une combinaison de ressources d'eau. La ressource doit pouvoir fournir assez d'eau pour la collectivité. Sinon, une autre ressource ou plusieurs ressources seront nécessaires.

L'eau sur la terre, qu'elle soit à l'état de vapeur dans l'atmosphère ou à l'état liquide dans les rivières, les courants, les lacs, les mers et les océans ou à l'état d'eau souterraine dans les couches géologiques, se trouve, la plupart du temps, dans un mouvement de recyclage continu et non dans un état statique. On appelle cela un cycle hydrologique (Fig. 4.1.).

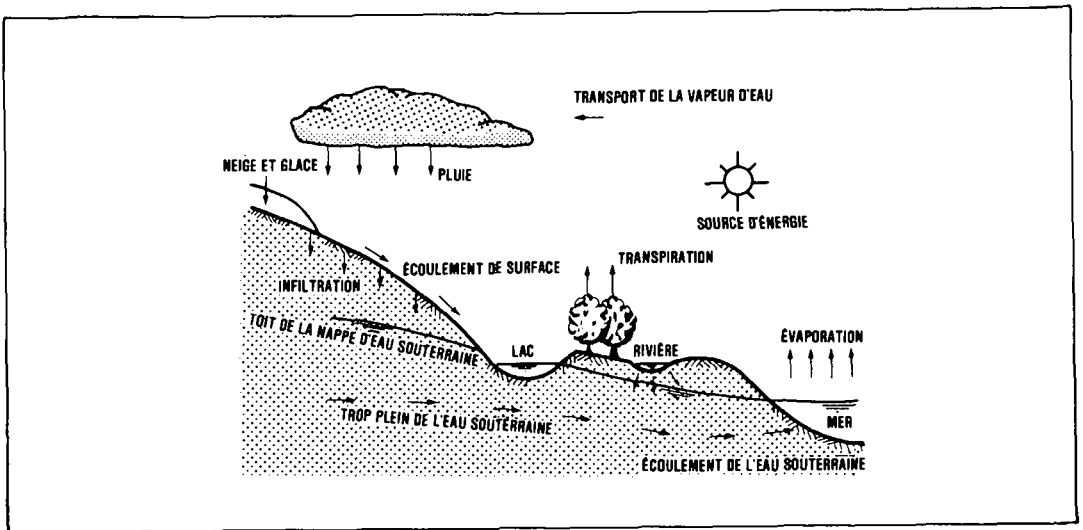


Figure 4.1.
Cycle hydrologique

Les forces motrices sont l'énergie solaire et la gravité terrestre. L'eau de l'atmosphère tombe sur le sol en pluie, en grêle, grêlons et neige ou se condense sur le sol ou sur la végétation. Cette eau ne s'ajoute pas en totalité à l'eau de surface ou aux ressources d'eau souterraine : une partie s'évapore et retourne directement à l'atmosphère; une autre partie est interceptée par la végétation ou est retenue sur le sol, humidifiant la couche supérieure .

L'eau s'accumulant sur le sol en étangs et marais est exposée à l'évaporation (1). Une partie de l'eau accumulée s'écoule en surface vers les courants, les rivières et les lacs. Une autre partie s'infiltré dans le sol. Cette eau peut s'écouler soit à faible profondeur au-dessous du sol vers des cours d'eau à ciel ouvert, soit percoler pour atteindre des aquifères souterrains plus profonds. L'eau souterraine, qu'elle soit peu profonde ou orofonde, n'est pas stagnante; elle s'écoule sous le sol selon la pente du toit de la nappe. Tôt ou tard, l'eau émerge à nouveau à la surface, soit sous forme de source ou d'un écoulement d'eau souterrain dans une rivière ou un lac. A partir des courants, rivières, lacs, mers et océans, l'eau retourne vers l'atmosphère du fait de l'évaporation, et l'ensemble du processus de recyclage recommence.

La plus grosse partie de l'eau sur terre se trouve, et de loin, dans les océans et les mers. Cependant cette eau est salée. La quantité d'eau douce n'atteint pas 3 %, dont les 2/3 se trouvent sous forme de glace dans les calottes polaires et les glaciers. L'eau douce contenue dans le sous-sol et dans tous les lacs, rivières, courants, ruisseaux, étangs, marais représente moins de 1 % de tout le stock mondial d'eau.

La plus grande partie de cette eau douce, sous forme liquide, se trouve dans le sous-sol; on estime à 6.000.000 km³ les eaux souterraines situées à moins de 50 m. de profondeur et à 2.000.000 km³ les eaux situées à des profondeurs plus importantes. Contrairement à la croyance populaire, la quantité d'eau douce contenue dans les lacs, les rivières et les courants est très faible, environ 200.000 km³. L'atmosphère ne contient que 13.000 km³ d'eau. Le tableau 4.1. indique les précipitations moyennes et les taux d'évaporation pour les principales parties du monde.

Les données hydrologiques globales ou à l'échelle d'un continent ne sont cependant que de peu d'utilité pour l'ingénieur hydrologue, sauf à lui faire souvenir que toutes les ressources en eau sont interdépendantes et font partie d'un cycle hydrologique global. Il a besoin d'informations sur l'importance des pluies, le débit des rivières et des courants, la quantité et la profondeur des eaux souterraines, et les taux d'évaporation. Cette information est rarement disponible et il sera nécessaire de procéder à des mesures sur le terrain ou d'explorer les données disponibles sur ces questions.

4.2 Qualité des ressource en eau

L'eau de surface et l'eau souterraine proviennent essentiellement toutes les deux de la pluie. Toutes les chutes de pluie contiennent des éléments prélevés ou lessivés à partir

- (1) L'évaporation survient pour toute eau de surface. La transpiration est la perte de l'eau par les plantes. Toutes les plantes prennent l'eau par leurs racines; elle est rejetée par la transpiration des feuilles.

de l'atmosphère. Les gaz atmosphériques sont dissous dans les gouttelettes de pluie. Sur les océans et les mers, des sels sont prélevés dans les embruns qui se produisent à la surface de l'eau. Sur les terres, particulièrement dans les régions sèches, des particules de poussière sont lessivées.

Tableau 4.1.
Importance des précipitations et de l'évaporation dans les diverses parties du monde

Continent	Précipitation mm/an	Evaporation mm/an	Écoulement mm/an
Afrique	670	510	160
Asie	610	390	220
Europe	600	360	240
Amérique du Nord	670	400	270
Amérique du Sud	1350	860	490
Australie et Nouvelle Zélande	470	410	60
Valeurs moyennes obtenues par pondération des résultats ci-dessus	725	482	243

La pluie est en général légèrement acide étant donné sa réaction avec le dioxyde de carbone (CO_2) présent dans l'atmosphère sous forme d'acide carbonique. Lorsque la pluie entre au contact de gaz polluants de l'atmosphère comme le dioxyde de soufre (provenant, par exemple, des volcans, ou de l'industrie), elle peut devenir franchement acide, entraînant des problèmes de corrosion et conduisant à des goûts amers. Dans les zones rurales, cependant, cela n'est pas un problème courant.

Après avoir atteint la surface du sol, la pluie entraîne un écoulement de surface ou constitue des eaux souterraines. Elle prélève, au passage, des quantités considérables d'éléments minéraux, de matières organiques, des débris d'origine végétale ou animale, des particules du sol et des micro-organismes. Des engrais et des pesticides peuvent être entraînés dans les zones agricoles. Lorsque l'eau s'écoule dans le sol, elle lessive des constituants provenant des couches géologiques, en particulier des carbonates, des sulfates, des chlorures, des sels de calcium, de magnésium et de sodium. Ainsi, la teneur en solides en suspension contenue dans l'eau augmente. En même temps, un processus de filtration s'établit qui élimine les solides en suspension. Quelques substances organiques sont biologiquement dégradées. L'adsorption et d'autres processus peuvent entraîner une élimination des bactéries, et des solides tant en suspension que dissous.

Lorsqu'il y a des quantités considérables de matières organiques, soit dans le sous-sol (par exemple de la tourbe) soit dans l'eau en cours d'infiltration, la teneur en oxygène de l'eau souterraine peut s'abaisser, voire s'annuler du fait de processus microbiens. Il peut

en résulter certaines réactions chimiques entraînant la formation d'ammoniaque et d'hydrogène sulfuré provenant des nitrates et des sulfates présents dans le sol. De la même façon, du fer et du manganèse seront dissous dans l'eau.

Une nappe d'eau souterraine peu profonde (par exemple, moins de 10 m.) peut être polluée par une contamination fécale en provenance de fosses d'aisances ou de fosses septiques. Les bactéries pathogènes et les virus provenant de ces sources de contamination peuvent être transportés par l'eau souterraine, bien qu'ils aient tendance à s'attacher par adsorption aux particules solides du sol. Lorsqu'il y a un risque sanitaire du fait des eaux souterraines, on doit accorder plus d'attention au temps de parcours de l'eau à travers les couches géologiques qu'à la distance que parcourt l'eau jusqu'au point d'exhaure. Dans les calcaires, les formations karstiques et les roches fissurées, les contaminations d'origine humaine peuvent être transportées sur plusieurs kilomètres. Dans les formations de sables, l'eau souterraine s'écoule beaucoup plus lentement; on n'a alors à prendre en considération que les sources de contamination très proches des points d'exhaure de l'eau souterraine.

Les écoulements de surface aussi bien que les eaux souterraines rejoindront en fin de compte les courants, les rivières et les lacs, là où l'eau est à ciel ouvert, donc sujette à contamination du fait de la vie tant humaine qu'animale, de la végétation, des plantes et des algues. De nombreuses rivières des zones tropicales transportent des quantités importantes de solides en suspension et ont une turbidité considérable, spécialement lors des inondations. La qualité de telles eaux varie considérablement avec les chutes de pluie. En saison sèche, les matières organiques colorent fréquemment l'eau des rivières.

Dans les eaux de surface, les processus d'auto-épuration sont importants. L'aération apportera à l'eau l'oxygène de l'atmosphère avec un relargage simultané du dioxyde de carbone. Dans les lacs et les réservoirs, les matières en suspension décantent et l'eau deviendra claire. Les matières organiques seront consommées par des processus bio-chimiques, et il se produira une élimination des bactéries intestinales, des virus et autres micro-organismes. En général, l'eau peut retrouver sa qualité d'origine, si aucune pollution nouvelle ne survient. Cependant, les lacs sont parfois sujets à une croissance excessive d'algues. Les petits barrages et les étangs se comportent d'une façon analogue. Presque toutes les eaux de surface ont besoin d'un traitement avant leur utilisation comme eau de boisson et comme eau domestique.

4.3 Choix de la ressource en eau

Le choix de la ressource d'eau la plus adaptée pour le développement d'un dispositif public d'alimentation en eau dépend largement des conditions locales. Lorsqu'on dispose d'une source ayant un débit suffisant, une telle disposition peut être considérée comme la ressource en eau la meilleure.

Si on ne dispose d'aucune source, qui puisse notamment être mise en valeur, la

meilleure solution, en général, est l'exploitation des ressources d'eau souterraine. Pour de petites alimentations en eau, on pourra, en général, se contenter de méthodes simples de prospection. Pour des installations plus importantes, on recourra à des investigations hydro-géologiques plus étendues s'appuyant sur des méthodes et des techniques spéciales. Les drains d'infiltration peuvent être considérés comme des sources d'eau souterraine peu profondes. Les puits peuvent permettre d'atteindre l'eau souterraine à une profondeur moyenne. Les forages conviennent en général mieux pour l'exhaure de l'eau à partir des aquifères profonds. Cependant, il est des conditions où les forages peuvent être utilisés avec avantage pour l'exhaure d'eaux souterraines peu profondes.

Le creusement des puits peut être souvent entrepris à partir de moyens locaux alors que les forages exigent un équipement plus sophistiqué et une compétence importante. Dans certains cas, le forage peut être la seule option valable. S'il n'y a pas d'eau souterraine disponible, où si les coûts de creusement d'un puits ou d'un forage sont trop élevés, il sera alors nécessaire de recourir à l'eau de surface comme ressource en eau (rivières, courants ou lacs). L'eau de surface exigera presque toujours un traitement pour la rendre apte à la consommation et à l'utilisation humaine. Les coûts et les difficultés associées au traitement de l'eau, en particulier les problèmes quotidiens de fonctionnement et d'entretien des stations de traitement d'eau doivent faire l'objet d'une attention particulière.

Lorsque la pluviométrie permet une récupération de l'eau de pluie et par conséquent son stockage durant les périodes sèches, la récupération des eaux de pluie peut très bien être utilisée pour l'alimentation des ménages et des petites collectivités. Dans des zones étendues de captage d'eaux de surface, on peut recueillir des quantités d'eaux considérables. L'eau de pluie est parfois utilisée en conjonction avec les autres sources pour compléter un autre dispositif d'alimentation, en particulier si ce dernier souffre d'un entretien défectueux et de défaillances techniques.

Les ressources en eau

- Balek, J.
 HYDROLOGY AND WATER RESOURCES IN TROPICAL AFRICA
 Elsevier Scientific Publishing Co., Amsterdam, 1978
- Bear, J.; Issar, A.; Litwin, Y.
 ASSESSMENT OF WATER RESOURCES UNDER CONDITIONS OF SCARCITY OF DATA
 In : Water Supply, Proceedings of the Conference on Rural
 Water Supply, April, 1971
 University of Dar-es-Salaam, p. 151-186
- GROUNDWATER IN AFRICA
 United Nations, New York, 1973, 170 p.
 (ST/ECA/147 Sales No. E71.11.16)
- GROUNDWATER IN THE WESTERN HEMISPHERE
 United Nations, New York, 1976, 337 p.
 (ST/ECA/35 Sales No. E76.11.A.5)
- Hammer, M.J.; MacKichan, K.A.
 HYDROLOGY AND QUALITY OF WATER RESOURCES
 John Wiley & Sons Ltd., Chichester, 1980, 408 p.
- Institute of Water Engineers
 MANUAL OF BRITISH WATER ENGINEERING PRACTICE, Vol. II
 W. Heffer & Sons, London
- Jain, J.K.
 INDIA : UNDERGROUND WATER RESOURCES
 In : Phil., Trans. Royal Society, London (1977), pp. 505-524
- James, L.D.
 ECONOMICS OF WATER DEVELOPMENT IN LESS DEVELOPED COUNTRIES
 In : Water Supply and Management, Vol. 2 (1978), No. 4, pp. 737-386
- Leeden, F. v.d. (Ed.)
 WATER RESOURCES OF THE WORLD, SELECTED STATISTICS
 Water Information Centre, Inc., Port Washington, 1975, 232 p.
- MORE WATER FOR ARID LANDS
 National Academy of Sciences, Washington D.C. 1974, 153 p.
- Rodda, J.C.; Downing, R.A.; Law, F.M.
 SYSTEMATIC HYDROLOGY
 Newnes-Butterworth, London, 1976
- Stern, P.H.
 RURAL WATER DEVELOPMENT IN ARID REGIONS
 Paper presented at IAWPR Symposium : Engineering, Science and Medicine
 in the prevention of Tropical Water Related Disease; London, 1978
 in : Progress in Water Technology, Vol. 2 (1979) Nos 1 and 2
- United Nations
 RESOURCES AND NEEDS, ASSESSMENT OF THE WORLD WATER SITUATION
 In : Water Supply and Management, Vol. 1, No. 3, 1977, pp. 273-311
 (Principal Background Paper E/Conf. 70/CBP/1 of UN Water Conference)
- Wilson, E.M.
 ENGINEERING HYDROLOGY
 MacMillan Book Co., London, 1971 (3rd edition)

5. recuperation de l'eau de pluie

5.1 L'eau de pluie, ressource pour l'alimentation en eau

Dans de nombreuses parties du monde, des captages d'eau de pluie et des réservoirs de stockage ont été construits depuis les temps anciens; quelques uns sont encore utilisés. L'eau de pluie est récupérée lorsqu'elle s'écoule des toits, ou ruisselle sur le sol naturel, les routes, les cours ou sur des surfaces préparées à cette intention. Sur le plan historique, l'utilisation de l'eau de pluie pour l'alimentation domestique remonte à quelque 4.000 ans dans la région Méditerranéenne. Les cités et les villages romains étaient aménagés de façon à pouvoir utiliser l'eau de pluie comme eau d'alimentation. Dans les collines proches de Bombay, aux Indes, les cellules des moines Bouddhistes comportaient depuis très longtemps des réseaux compliqués de gouttières et de citernes taillés dans la roche permettant une alimentation en eau domestique pendant un an.

Dans beaucoup de pays d'Europe et d'Asie, la récupération de l'eau de pluie était très utilisée pour l'alimentation en eau domestique, particulièrement dans les zones rurales. Cela se pratique encore dans certains pays. Cependant, lorsqu'on a commencé à installer des distributions sous canalisations pour l'alimentation en eau, l'importance de l'eau de pluie, comme source d'alimentation, a diminué.

Dans certaines îles tropicales, l'eau de pluie continue à être la seule source d'alimentation en eau domestique. Dans les zones arides et semi-arides où les gens vivent surtout dans un habitat dispersé ou dans des campements de nomades, la récupération de l'eau de pluie peut être un moyen indispensable d'alimentation en eau domestique. C'est particulièrement le cas lorsque les ressources en eau souterraine ne sont pas disponibles ou sont coûteuses à mettre en oeuvre. Dans les pays en voie de développement, l'eau de pluie est parfois utilisée comme complément à l'alimentation en eau par canalisations.

Il convient d'examiner le cas de la récupération de l'eau de pluie dans les pays où la pluie intervient sous forme d'orages d'intensité considérable, avec des intervalles durant lesquels il n'y a pratiquement pas ou très peu de pluie. Il faut alors un dispositif adapté pour l'interception, la collecte et le stockage de l'eau. Selon les circonstances, la collecte de l'eau se fait soit sur le sol, soit à partir de l'écoulement des toits.

5.2 Captage par les toits

Une eau de pluie raisonnablement pure peut être collectée à partir de toits de tuiles, d'ardoises, de tôle ondulée, d'aluminium ou de fibrociment. Les toits en chaume ou en plomb ne conviennent pas en raison des risques qu'ils font courir à la santé. Avec une eau de pluie très corrosive, l'utilisation d'une couverture en fibrociment pour le captage de l'eau de pluie exige quelques précautions. Des fibres d'amiante peuvent se trouver arrachées du matériau constituant le toit et conduire à des concentrations relativement élevées dans l'eau de

pluie collectée. Les matériaux de couverture en plastique sont économiques mais souvent peu durables. On a mis récemment sur le marché de nouveaux matériaux pour les toitures tels que des feutres bitumés ou du papier de sisal renforcé. Les peintures réalisées pour rendre un toit étanche peuvent donner un goût ou une coloration à l'eau collectée; on doit donc les éviter. La figure 5.1. présente un dispositif simple de captage de l'eau d'un toit.



IRC Photo

Figure 5.1.
Captage simple de l'eau de pluie et stockage (Thaïlande)

La gouttière du toit doit être en pente régulière vers la conduite de reprise car, si elle présente des points bas, il se formera des accumulations d'eau qui attireront les moustiques.

La poussière, les feuilles mortes et les fientes d'oiseaux s'accumuleront sur le toit durant les périodes sèches. Elles seront entraînées par les premières pluies. Il sera donc souhaitable d'aménager la conduite de descente de sorte que les premières eaux d'une pluie chargées en impuretés ne puissent pas se mélanger au réservoir d'eau claire et soient évacuées à l'extérieur.

Pour maintenir une bonne qualité à l'eau recueillie, on doit nettoyer régulièrement le toit et les gouttières (1). On placera un tamis avant l'entrée dans la conduite de descente pour empêcher son engorgement par les débris éliminés du fait de ce nettoyage.

(1) Les fientes d'oiseaux ont provoqué des maladies (salmonelloses) en Jamaïque.

La figure 5.2. montre un dispositif qui permet d'écarter la première eau de pluie provenant du toit.

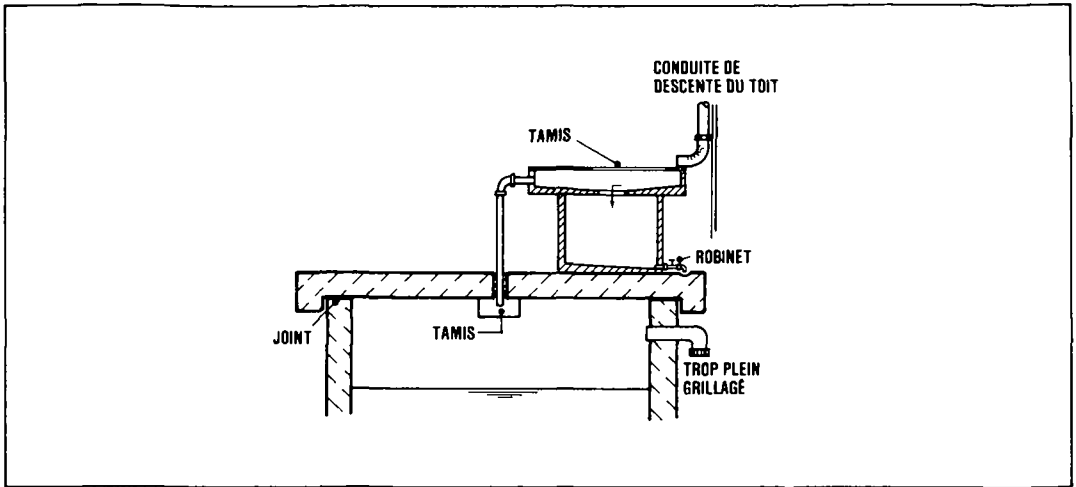


Figure 5.2.
Aménagement pour l'évacuation de la "première eau de rinçage"

Un autre dispositif comporte un réservoir souterrain de stockage recevant l'eau de pluie qui se déverse à partir d'une capacité placée sur le sol (figure 5.3.). Cette dernière envoie par surverse l'eau vers le réservoir souterrain.

La surface du toit dépendra de l'importance de la maison. La quantité d'eau de pluie qui peut être obtenue par le captage de l'eau du toit dépend essentiellement de la surface du toit et la pluviométrie locale annuelle. Une pluviométrie de 1 mm sur 1 m² de toit fournira environ 0,8 l d'eau, compte tenu de l'évaporation et des autres pertes.

Pour un toit mesurant 5 m x 8 m (en plan), avec une pluviométrie annuelle moyenne de 750 mm, la quantité d'eau de pluie susceptible d'être recueillie peut être estimée à :

$$5 \times 8 \times 750 \times 0,8 = 24.000 \text{ litres par an}$$

$$\text{ou } \frac{24.000}{365} = 66 \text{ litres par jour en moyenne}$$

En tenant compte de certaines années qui sont plus sèches que la moyenne et aussi des saisons sèches de durée exceptionnelle, le toit et le stockage sont à prévoir pour un débit supérieur d'environ 50 % aux besoins en eau des populations qui dépendront de l'approvisionnement. Avec un stockage suffisant, le captage du toit pourrait en année sèche fournir encore quelque 40 litres par jour, ce qui correspond à une consommation de base d'eau de boisson et d'eau domestique d'une famille de six personnes.

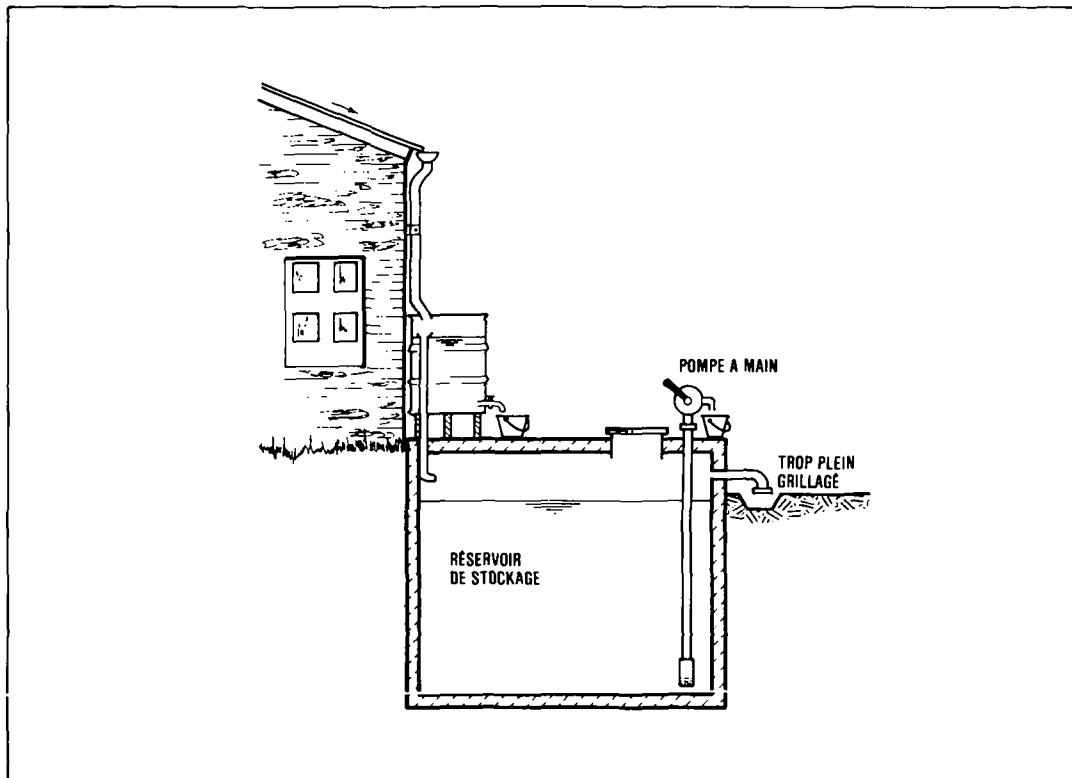


Figure 5.3.
Captage et stockage de l'eau de pluie provenant du toit
(exhaure par pompe à main)

On peut estimer le volume de stockage nécessaire pour un ménage en calculant le volume d'eau qui serait utilisé au cours de la plus longue période sans pluie prévisible. Pour de courtes périodes sèches, le volume de stockage nécessaire sera faible et un simple récipient en bois pourra probablement faire l'affaire ou bien un baril d'huile ou tout autre réservoir adapté. Là où la pluviométrie varie beaucoup dans l'année, on prévoira des saisons sèches de longue durée.

Pour une saison sèche moyenne de trois mois, le volume de stockage nécessaire serait : $3 \times 30 \times 40 = 3.600$ litres. Pour permettre de supporter des longues périodes sans pluie dans les années extrêmement sèches, un surplus de 50 % devrait être prévu, et le volume de stockage serait alors de 5.400 litres.

5.3 Collecte à partir du sol

Les captages doivent permettre la collecte de l'eau de pluie ruisselant sur le sol. Une partie de l'eau de pluie servira à humidifier le sol, s'accumulera dans les dépressions, ou sera perdue par évaporation ou par infiltration dans le sol. Ces pertes pourront être considérablement réduites en disposant sur le sol des tuiles, des plaques de béton, d'asphalte ou de plastique qui fourniront une couche imperméable. Un autre moyen implique le traitement chimique de la surface du sol. Parfois il suffit d'un simple compactage.

La quantité d'eau de pluie qui peut être ainsi obtenue dépendra du dispositif de collecte selon qu'il sera plan ou en pente et de l'étanchéité de la couche supérieure. Avec une préparation convenable de la surface du sol, on pourra assurer un écoulement rapide et suffisant de l'eau, jusqu'au point de collecte et de stockage de manière à réduire les pertes par évaporation et infiltration.

Les pourcentages d'eau de pluie qui peuvent être récupérés sont d'environ 30 % pour les sols perméables, avec une aire de collecte plate; jusqu'à 90 % pour des collectes sur des terrains en pente recouverts de matériaux imperméables.

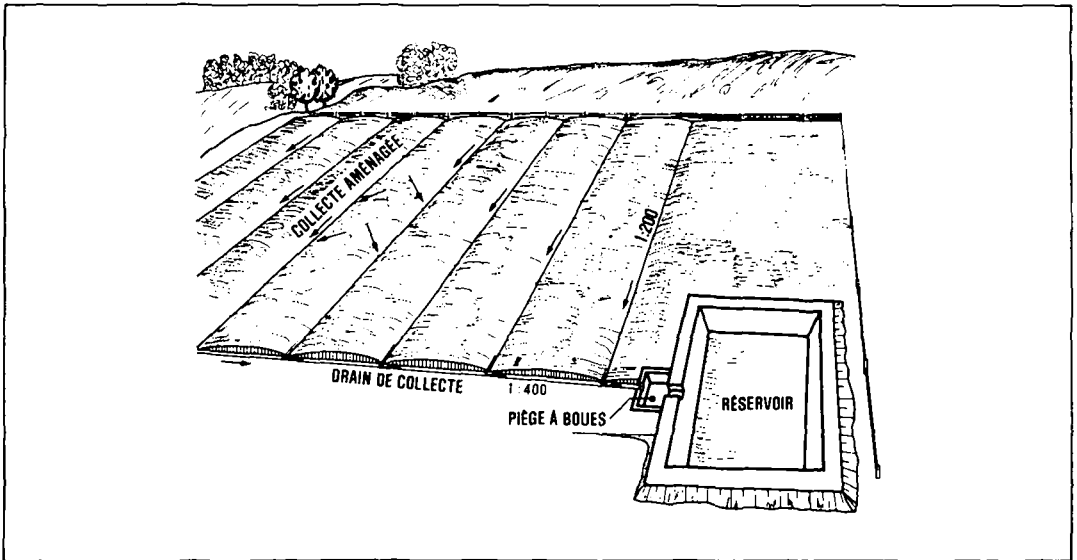


Figure 5.4.
Collecte du ruissellement sur le sol

L'aménagement du terrain comprendra l'établissement de fossés sur l'ensemble du pourtour, le débroussaillage (rochers et plantes) et un compactage simple du sol. On essaie souvent

de réduire les pertes d'eau de pluie par infiltration. Dans une zone de collines, un compactage soigneux du sol peut être suffisant pour assurer un bon captage. Sur des sols plats, il sera nécessaire de prévoir un aménagement de petites bandes de terrain en pente avec une préparation appropriée de la surface du sol.

On peut utiliser diverses sortes de matériaux pour recouvrir la surface de captage : Tuiles, tôle ondulée, asphalté, ciment ou même des matériaux tels que des tissus butyle renforcés ou des plaques épaisses de plastique. Lorsqu'ils sont correctement adaptés, ces matériaux peuvent permettre d'obtenir un bon rendement dans le captage de l'eau; on peut récolter jusqu'à 30 % de l'écoulement de l'eau de pluie tombée dans la zone de captage. Ces installations ne nécessitent que peu d'entretien et sont assurées d'une longue durée de vie.

Cependant ces matériaux sont en général trop chers pour être utilisés sur de grandes zones de captage. On procède actuellement à l'essai de différents revêtements plus économiques pour les surfaces de captage :

- Asphalté en deux couches (pour l'étanchéité et la protection); renforcement avec du plastique et de la fibre de verre, le tout recouvert de graviers; et
- Enduit à la paraffine réparti en granulés qui forment une couche unie en fondant au soleil.

Des membranes minces en plastique couvertes d'un à deux centimètres de graviers ou plaquées au sol par du bitume sont beaucoup moins chères mais sont facilement endommagées par les pierres pointues, les racines, ou les animaux, et les réparations sont difficiles à effectuer. Le débit d'eau obtenu avec de telles membranes de captage est parfois assez décevant (pas plus de 30 à 50 % de l'eau de pluie). De bons résultats peuvent probablement être obtenus en traitant la couche supérieure du sol de la zone de captage avec des produits chimiques. On peut utiliser des sels de sodium, qui transforment les particules d'argile en une couche imperméable, ou un enduit de bitume ou de goudron qui peut être répandu sur le sol pour obturer les pores. Un tel traitement n'est pas onéreux et peut être répété à des intervalles réguliers (une fois toutes les deux à trois ans) pour maintenir l'étanchéité du système de captage.

Avec un bon traitement du sol, des zones de captage de dimensions suffisantes peuvent fournir une alimentation en eau domestique pour un certain nombre de familles et même pour un village entier; elles nécessitent cependant une gestion et un entretien correct, une protection contre les dommages et les contaminations. Il peut être nécessaire de clore le terrain avec des barrières ou des haies. Il pourra être nécessaire de prévoir, à l'amont de la zone de captage, une tranchée destinée à interrompre le ruissellement ainsi qu'un muret sur le pourtour pour éviter un écoulement d'eau polluée à l'intérieur du périmètre de captage. Une couverture en herbe peut permettre de réduire des érosions dans la zone de captage, mais la production d'eau sera alors plus faible. Des arbres et des buissons peuvent être mis en place autour de la zone de manière à limiter les effets du vent qui serait susceptible d'apporter des matériaux divers et des poussières.

5.4 Stockage

Les installations de stockage peuvent être établies en surface ou en souterrain. Quel que soit le type de stockage utilisé, une clôture convenable doit être établie pour empêcher toute contamination du réservoir du fait des hommes, des animaux, des feuilles, de la poussière ou d'autres polluants. Une couverture étanche doit assurer un stockage dans l'obscurité pour empêcher des croissances d'algues ou l'éclosion des larves de moustiques. Les réservoirs ouverts ou les étangs de stockage ne sont pas en général à conseiller comme sources d'alimentation en eau potable.

Il existe un grand choix de matériaux pour la construction de réservoirs de stockage d'eau. Pour de petits volumes, on pourra utiliser des récipients en bois, en ciment, en argile ou tous autres matériaux étanches.

Les installations de stockage souterrain ont, en général, l'avantage de conserver l'eau fraîche et n'entraînent aucune déperdition de l'eau par évaporation. Cette disposition économise la place et ne coûte pas cher si le réservoir est directement moulé dans le sol par un simple compactage de la terre. La figure 5.5. en est un exemple.

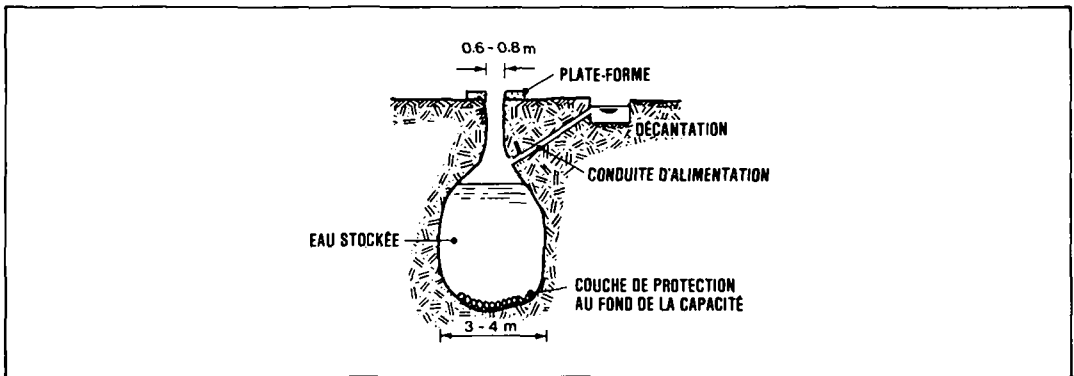


Figure 5.5.
Capacité de stockage souterrain pour l'eau de pluie (Chine)

Du ciment appliqué manuellement peut être utilisé pour enduire les murs de l'excavation. On peut également utiliser un revêtement en feuilles plastiques. Des bassins de stockage comportant une structure en nids d'abeilles (figure 5.6.) ont été construits dans de nombreux pays (par exemple au Soudan, au Botswana, au Swaziland, au Brésil, en Jamaïque) jusqu'à des capacités de 10.000 litres. Des tubes de polyéthylène remplis d'un mélange de ciment maigre et fermés à leurs extrémités sont mis en place avant la prise, ce qui leur permet de bien prendre la forme voulue. Les côtés de ces réservoirs sont recouverts de polyéthylène.

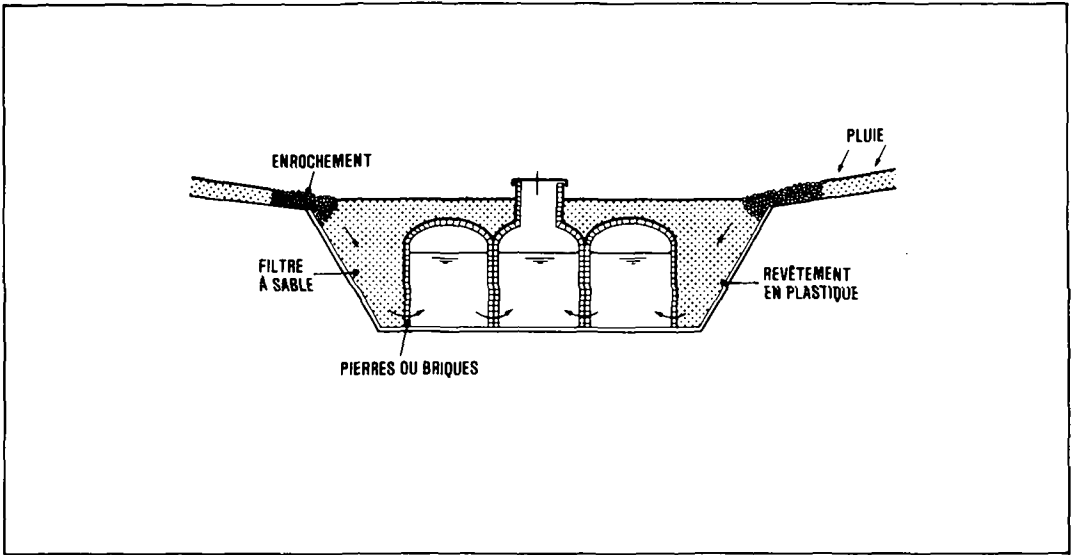


Figure 5.6.
Citerne construite en tubes de polyéthylène

On trouvera deux autres exemples de stockage de l'eau de pluie sur les figures 5.7. et 5.8.

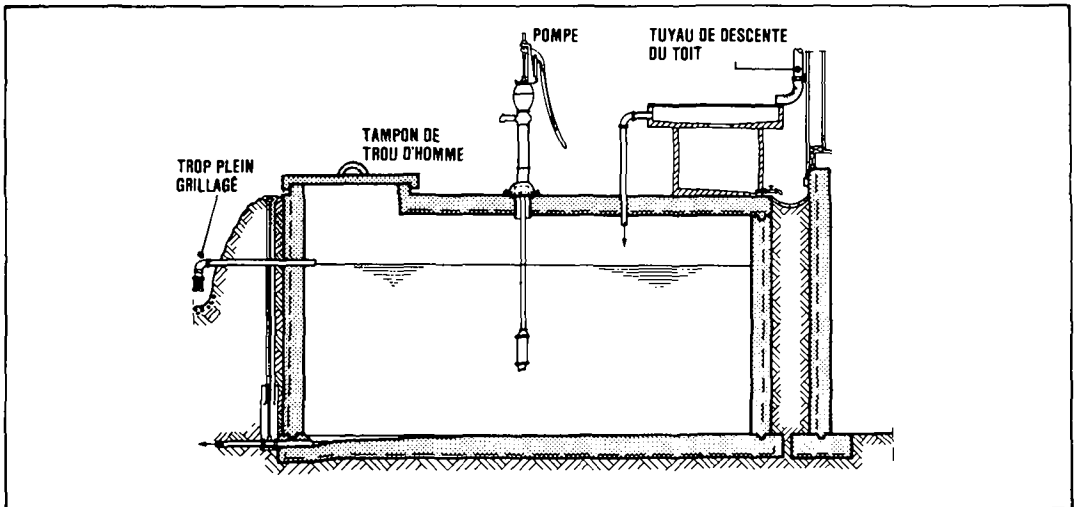


Figure 5.7.
Installation de stockage de l'eau de pluie

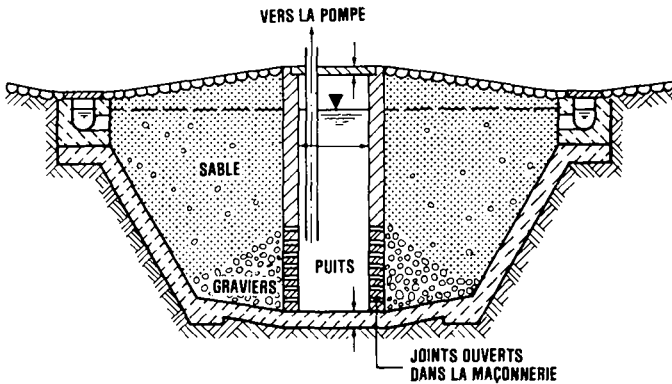


Figure 5.8.
Citerne vénitienne

Le tonneau cylindrique en bois pour l'eau de pluie était traditionnel dans les pays de l'ouest avant le recours aux distributions d'eau par canalisations. Ces récipients peuvent être construits spécialement pour le stockage de l'eau de pluie, mais des bidons ayant contenu de la nourriture ou de l'eau de boisson peuvent aussi bien être utilisés après usage.

Des réservoirs en ciment à parois relativement minces peuvent être construits pour stocker de petites quantités d'eau de pluie. Un dispositif de coffrage a été imaginé par l'UNICEF au Kenya, dans lequel on utilise un simple sac pour couler des parois de trois cm. d'épaisseur ou même moins. Des réservoirs d'une capacité de stockage de 2.500 litres sont ainsi construits.

On dispose d'argile dans de nombreux pays d'Afrique, d'Asie ou d'Amérique Latine. Elle peut être utilisée pour construire des réservoirs de stockage d'eau de pluie de volume limité. Des techniques simples de vitrification doivent être mises en oeuvre pour améliorer l'imperméabilité des récipients en argile ou des tonneaux.

Des structures étanches (exemple en bambou, ou en branchages) peuvent être réalisées en enduisant des corbeilles en bois avec du ciment, du mortier ou des matières plastiques. On établira facilement une étanchéité des récipients de stockage grâce à un moule.

Pour la construction de réservoirs métalliques, le matériel le plus communément utilisé est le fer galvanisé qui est facilement rivé et soudé. Pour éviter la déformation du réservoir lorsqu'il s'emplit, il est nécessaire de prévoir une structure en bois, en métal, etc... Ces réservoirs peuvent, parfois, être incorporés au sein même des murs ou des fondations des immeubles.

Les réservoirs en tôle ondulée ont l'avantage d'être auto-stables. Il en existe, pour des volumes allant jusqu'à 10.000 litres, en Afrique et en Australie. Leur construction n'est pas difficile, mais leur assemblage nécessite une machine spéciale, à moins que les plaques de tôle ondulée ne soient préparées manuellement. Des artisans locaux peuvent être formés pour construire ces réservoirs dans des dimensions correspondant aux exigences locales.

Pour des volumes de stockage plus importants, on utilise surtout des réservoirs ou des citernes construits en brique ou en maçonnerie. Traditionnellement, les murs sont cylindriques et liés par un mortier en chaux, ce qui est bon marché, ou par un mélange à base de ciment, ce qui est plus coûteux; avec d'assez gros stockages et des réservoirs dépassant 2 m. de hauteur, il est nécessaire de renforcer les parties extérieures. Cela peut se faire en prévoyant une ou plusieurs bandes métalliques serrées autour de la périphérie du réservoir. On couvrira facilement ce type de réservoir en plaçant quelques éléments, par exemple de la tôle galvanisée, sur une structure support.

Les réservoirs en béton armé sont fréquemment utilisés dans de nombreux endroits. On les construit en mettant en oeuvre un coffrage à double paroi. Les armatures habituellement en grillage ou des barres métalliques sont disposées à l'intérieur du coffrage et on coule le béton. Le coffrage est retiré après la prise du béton, généralement au bout d'une journée. Il peut resservir à la construction d'un autre réservoir, ce qui est nécessaire car le coffrage représente un investissement initial substantiel. Pour des raisons économiques, le coffrage doit donc être utilisé plusieurs fois, ce qui implique une organisation d'ensemble. Les réservoirs en béton armé ont l'avantage d'une longue durée de vie et ils peuvent, en principe, être construits pour n'importe quelle capacité de stockage. Du fait de leur résistance, de tels réservoirs peuvent être intégrés dans des murs ou dans des fondations d'un immeuble.

Des réservoirs en béton armé de bambou ont été construits avec succès dans les pays où le bambou est disponible avec les longueurs, les tailles et la résistance nécessaires (par exemple en Chine, en Indonésie, en Thaïlande). Les réservoirs en ferrociment ont une faveur grandissante; des fils métalliques renforcent les parois et le fond des ouvrages construits en ciment plastique. De tels réservoirs sont très économiques.

5.5 Préservation de la qualité de l'eau

Lorsque l'on construit des réservoirs ou des citernes de stockage en souterrain, des dispositions spéciales sont à prendre pour empêcher l'entrée de la poussière, du sable, des feuilles, des insectes ou d'autres polluants. Pour la même raison, toute ouverture d'entrée ou de sortie, toute aération doit être grillagée.

Un fossé d'interception doit être établi pour écarter les écoulements de surface.

Durant le stockage, la qualité de l'eau de pluie collectée, à partir du toit ou du terrain de captage, est susceptible de se détériorer du fait de la putréfaction des matières

organiques contenues dans l'eau, ou de la croissance des bactéries ou autres micro-organismes. Les mesures à prendre pour protéger l'eau comprennent son maintien à l'abri de la lumière, des conditions de stockage au frais, et un nettoyage régulier. Des moyens simples de désinfection tels que le pot de chloration (cf. chapitre 17) peuvent être très utiles au sein des réservoirs.

En théorie, la préfiltration de l'eau collectée avant son stockage est à conseiller, mais en pratique les filtres ne sont pas très efficaces pour un fonctionnement intermittent. Néanmoins, la figure 5.9. donne exemple d'une telle installation.

Il serait souhaitable de faire bouillir l'eau extraite du réservoir de stockage avant son utilisation comme eau de boisson ou de cuisson. Mais cela n'est pas souvent pratiqué. Dans certains endroits, un petit sac contenant un coagulant est suspendu dans le réservoir de stockage pour flocculer les solides en suspension dans l'eau. L'eau extraite du réservoir de stockage est claire en apparence, mais sa qualité sur le plan bactériologique n'est pas assurée.

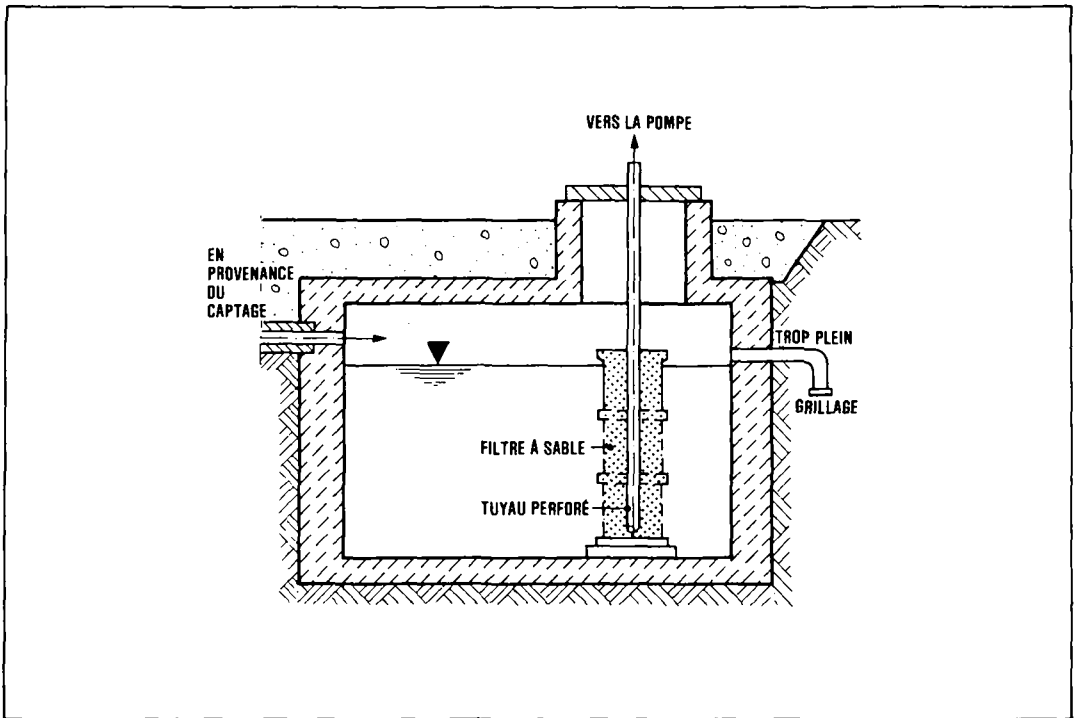


Figure 5.9.
Filtration d'eau de pluie à la sortie d'un réservoir de stockage

Récupération de l'eau de pluie

Environmental Protection Agency
INDIVIDUAL WATER SUPPLY SYSTEMS
U.S. Government Printing Office, Washington D.C., 1973

Grover, B.
HARVESTING PRECIPITATION FOR COMMUNITY WATER SUPPLY
World Bank, Washington D.C., 110 p.

Ionides, M.
WATER IN DRY PLACES
Engineering, London, 1967, pp. 662-666

Johnson, K.; Renwick, H.
RAIN AND STORMWATER HARVESTING FOR ADDITIONAL WATER SUPPLY IN
RURAL AREAS : Component review of North America
United Nations Environment Programme, Nairobi, 1979

Maddocks, D.
AN INSTRUCTION TO METHODS OF RAINWATER COLLECTION AND STORAGE
In : Appropriate Technology, Vol. 2 (1975) No. 3, pp. 24-25

Maddocks, D.
METHODS OF CREATING LOW-COST WATERPROOF MEMBRANES FOR USE IN
THE CONSTRUCTION OF RAINWATER CATCHMENT AND STORAGE SYSTEMS
Intermediate Technology Publications Ltd., London, 1975

MORE WATER FOR ARID LANDS
National Academy of Science, Washington D.C., 1974

RAINWATER CATCHMENT PROJECT JAMAICA
Inter-Technology Service Ltd; Government of Jamaica
Ministry of Mining and Natural Resources, Water Resources
Division of Foreign and Commonwealth Office
(Overseas Development Administration), London, 1972, 220 p.

RAINWATER AND STORMWATER HARVESTING FOR ADDITIONAL WATER
SUPPLY IN AFRICA
University of Nairobi, Department of Geography, Nairobi, 1979

RAINWATER HARVESTING IN INDIA AND MIDDLE EAST
Indian Institute of Science, Department of Civil Engineering
Bangalore (India), 1979

THE INTRODUCTION OF RAINWATER CATCHMENT AND MICRO-IRRIGATION
TO BOTSWANA
Intermediate Technology Development Group Ltd, London, 1969, 110 p.

Watt, S.B.
RAINWATER STORAGE TANKS IN THAILAND
In : Appropriate Technology Vol. 5 (1978) No. 2, pp. 16-17

6. captage d'une eau de source

6.1 Introduction

On rencontre des sources essentiellement dans des régions montagneuses, dans des zones de collines. Une source peut être définie comme un endroit où se produit un écoulement naturel d'eau souterraine.

Une source d'eau est en général alimentée par une formation souterraine de sable ou de graviers contenant de l'eau, dite aquifère. Ce peut être aussi un écoulement d'eau à travers un rocher fissuré. Lorsque des couches de terrain compactes ou argileuses font obstacle à un écoulement souterrain, l'eau peut se trouver refoulée et apparait en surface. Elle peut émerger à l'air libre : c'est une source, ou s'écouler de façon invisible dans la rivière, un courant, un lac ou dans la mer (figure 6.1.). Là où elle émerge sous forme de source, l'eau peut être facilement captée. Les plus anciens dispositifs d'alimentation en eau des collectivités étaient, en fait, souvent basés sur des sources.

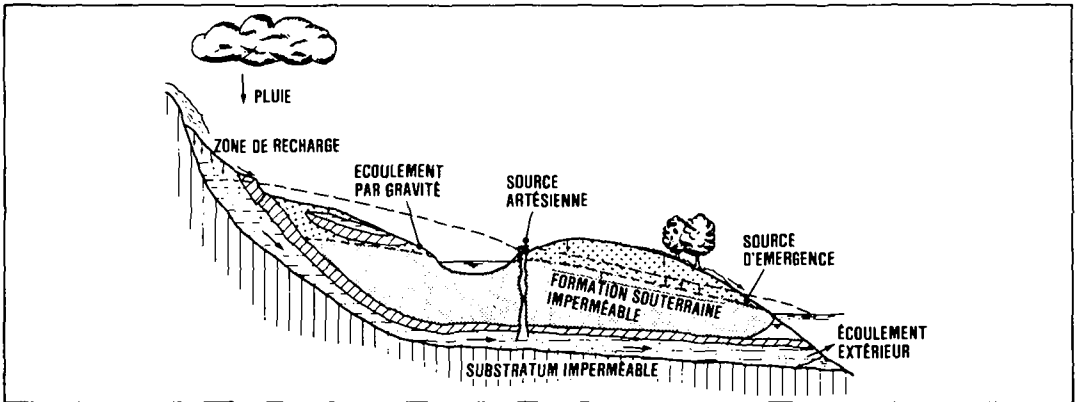


Figure 6.1.
Apparition des Sources

On recherchera les sources essentiellement sur les pentes des collines ou dans les vallées parcourues par une rivière. De la verdure en un certain point d'une zone sèche peut indiquer la présence d'une source; on peut en trouver une en remontant un courant d'eau jusqu'à son origine. Cependant, les populations locales sont les meilleurs guides car elles connaissent, en général, la plupart des sources de leur région.

Une véritable source d'eau est pure et peut, en général, être utilisée sans aucun traitement, d'autant mieux que la source est correctement protégée par une construction (maçonnerie, brique ou béton) empêchant la contamination de l'eau par l'extérieur. On doit être certain que l'eau provient réellement des nappes souterraines et non d'un courant superficiel qui se serait enfoncé sous terre sur une courte distance.

L'écoulement de l'eau d'une source peut se faire à travers des ouvertures de formes variées. On distingue des sources d'infiltration où l'eau percole par de nombreuses petites ouvertures dans un sol poreux; des sources de fracture dans lesquelles l'eau arrive par des fentes ou des fractures existant dans un rocher par ailleurs compact, des sources tubulaires dans lesquelles l'ouverture du déversoir est plus ou moins ronde. Cependant, pour se faire une opinion des possibilités offertes par le captage de l'eau des sources, la distinction entre les sources s'écoulant par gravité et les sources artésiennes est très importante. Une sous-division ultérieure peut être faite entre sources de dépression et sources de surverse.

Les sources s'écoulant par gravité apparaissent dans les aquifères libres. Lorsque la surface du sol s'abaisse à un niveau inférieur à celui d'une nappe d'eau, la dépression se remplit d'eau (figure 6.2.).

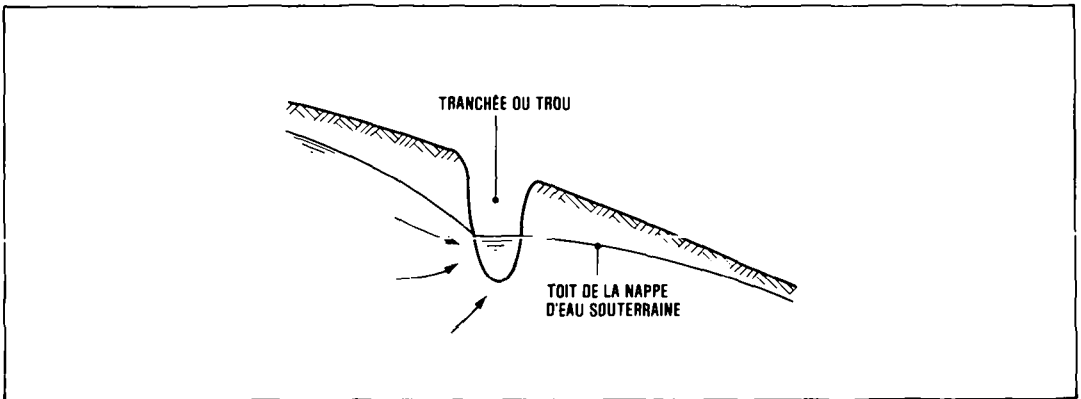


Figure 6.2.
Source de dépression à écoulement par gravité

De telles sources n'ont en général qu'un petit débit qui se réduit encore en saison sèche ou lorsque de nouveaux prélèvements d'eau souterraine provoquent un abaissement du toit de la nappe.

On peut compter sur un débit plus important et moins variable pour des sources s'écoulant par gravité, lorsqu'un affleurement d'une couche imperméable (roche compacte ou banc argileux) s'oppose à l'écoulement souterrain et contraint l'eau à remonter vers la surface (figure 6.3.). Dans une telle source d'émergence, toute l'eau provenant de la zone à partir de laquelle s'effectue la recharge est évacuée. L'écoulement sera beaucoup plus régulier que la recharge par la pluie. Malgré cela, on pourra observer des fluctuations de débit appréciables et, dans les périodes de sécheresse, certaines sources peuvent cesser complètement de couler.

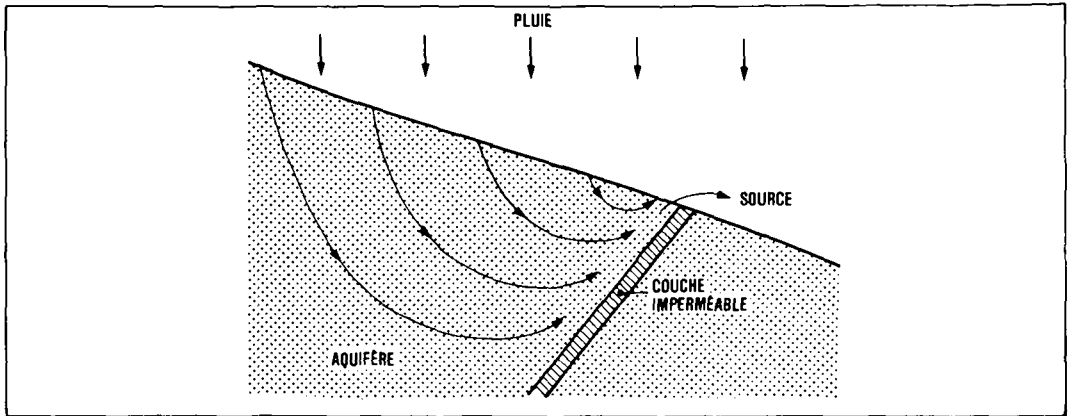


Figure 6.3.
Source d'émergence à écoulement par gravité

Les sources artésiennes (1) de dépression ressemblent en apparence aux sources de dépression à écoulement par gravité. Cependant, l'eau se trouve poussée vers l'extérieur sous l'effet de la pression; son débit est alors plus important et subit moins de fluctuations. Un abaissement du toit de la nappe artésienne durant les périodes sèches a peu d'influence sur l'écoulement de l'eau souterraine (figure 6.4.). Les sources artésiennes de fissure (figure 6.5)

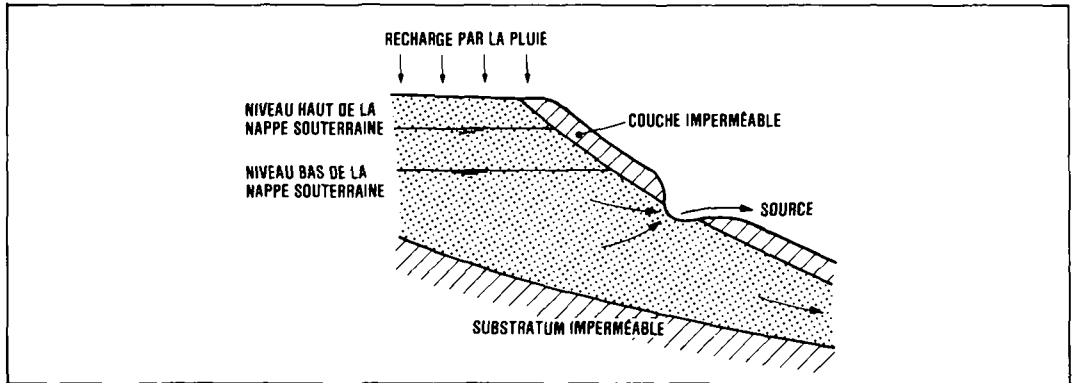


Figure 6.4.
Source artésienne de dépression

(1) L'eau souterraine artésienne est de l'eau souterraine qui, du fait d'une couche imperméable qui la surmonte, est empêchée de s'élever jusqu'à son niveau de nappe libre et est ainsi mise en pression.

constituent une variante importante de ce type de source. On en rencontre dans de nombreux pays et elles sont largement utilisées pour l'alimentation en eau de collectivités.

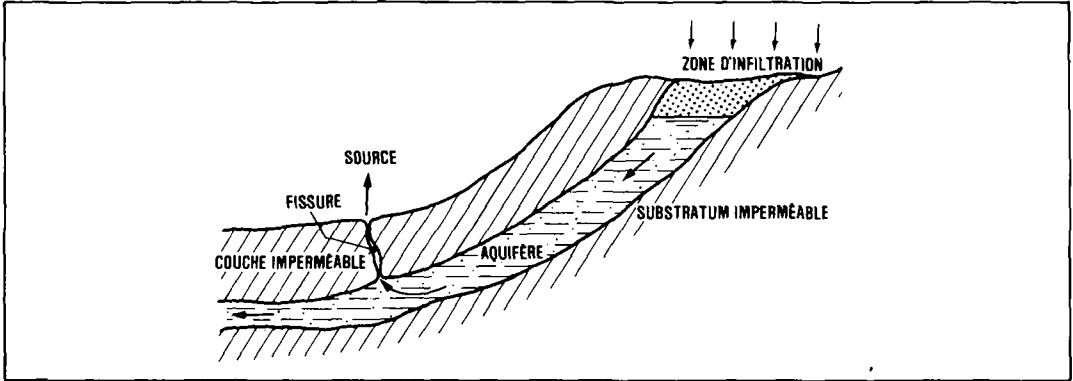


Figure 6.5.
Source artésienne de fissure

Les sources artésiennes d'émergence ont souvent une grande zone de recharge, parfois très éloignée (figure 6.6.). L'eau est évacuée à l'extérieur sous la pression; le débit est souvent considérable et l'on ne constate que peu, voire pas de fluctuation saisonnière. Ces sources sont très adaptées aux objectifs d'alimentation en eau des collectivités. Les sources artésiennes ont l'avantage d'avoir un aquifère protégé contre les contaminations par la couverture imperméable. L'eau de ces sources sera bactériologiquement pure.

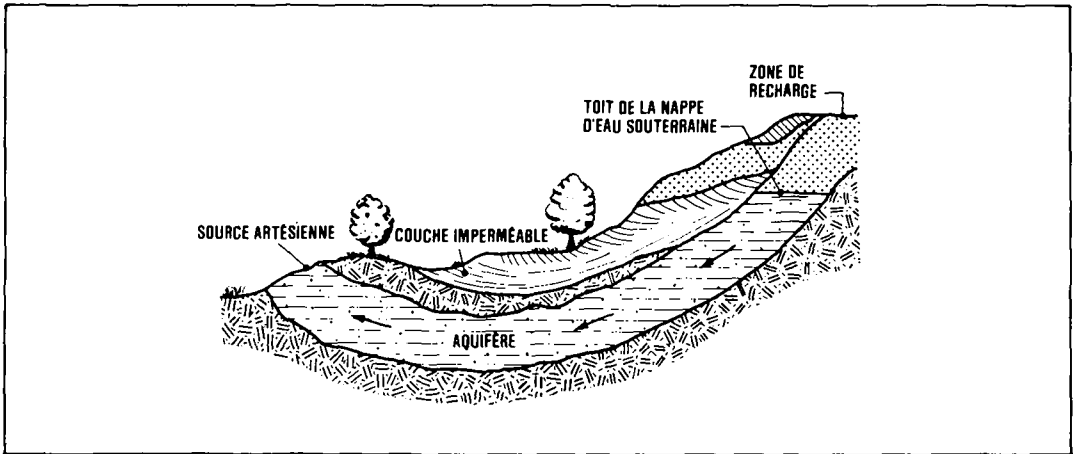


Figure 6.6.
Source artésienne d'émergence

6.2 Considérations de base

La source choisie pour une alimentation doit être contenue dans une structure de laquelle part une canalisation qui conduit l'eau jusqu'un point où elle doit être amenée. Il convient de porter une grande attention aux quatre points suivants qui sont très importants :

- 1 - Une protection sanitaire pour empêcher toute contamination de la source dans la structure de captage.
- 2 - La qualité de l'eau de la source est importante. En particulier, avec les sources artésiennes, l'eau sera généralement indemne d'organismes pathogènes. Cependant, si on observe des différences de température entre le jour et la nuit, la qualité de l'eau sera suspecte.
- 3 - Dans les aquifères granuleux, l'importance du débit variera peu avec la distance le long du contour (sources de percolation). Pour capter cette eau, des galeries d'infiltration de longueur considérable seront nécessaires sans que leur emplacement ait à être déterminé avec précision. Avec les aquifères à roche fracturée, cependant, les sorties d'eau seront concentrées là où les fissures empruntées par l'eau atteignent la surface du sol. Des travaux de captage peu étendus seront probablement suffisants, mais ils devront être soigneusement implantés.
- 4 - Il est nécessaire d'évaluer le débit de la source et les variations saisonnières de l'écoulement. Le débit et l'existence d'une source peuvent n'être que peu influencés par les travaux entrepris pour le captage de l'eau de source.

Comparé à l'exhaure de l'eau souterraine décrite au chapitre 7, le captage d'une eau de source présente l'avantage de n'affecter que peu, voire pas du tout, le niveau du toit de la nappe d'eau souterraine.

6.3 Captage des sources s'écoulant par gravité

En raison de leur faible débit et de la difficulté de réaliser une protection sanitaire satisfaisante, une source de dépression fonctionnant par gravité (figure 6.2.) ne peut être recommandée pour l'alimentation en eau des collectivités. L'existence d'une telle source, cependant, est l'indice d'une eau souterraine peu profonde que l'on peut obtenir grâce à des drains ou des puits ordinaires. Ces derniers peuvent être couverts et protégés contre toute contamination.

Les sources de surverse s'écoulant par gravité que l'on observe dans des terrains granuleux peuvent être captées avec un drainage constitué de conduites à joints ouverts, entourées d'un manchon de graviers. Pour protéger la source, il est nécessaire de creuser dans le flanc de la colline de manière à pénétrer suffisamment dans l'aquifère même, si le toit de la nappe d'eau est peu élevé (figure 6.7.).

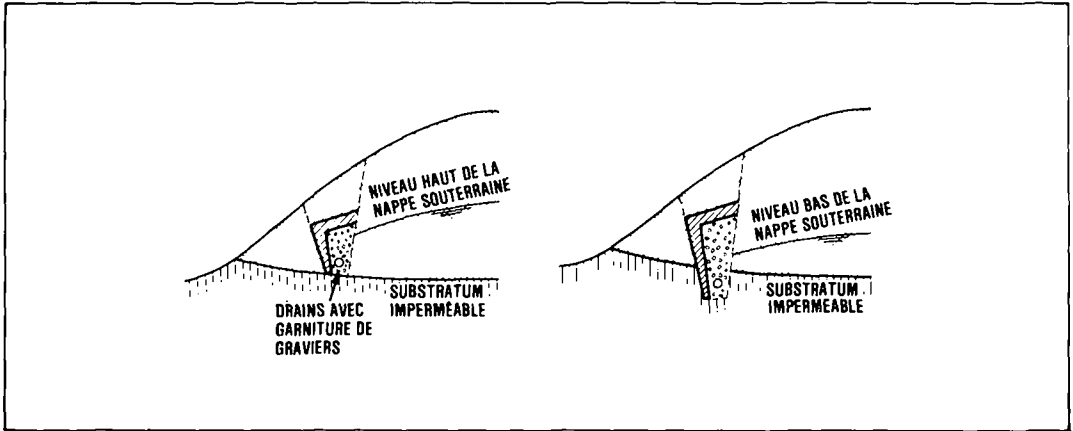


Figure 6.7.
Captage d'une source s'écoulant par gravité

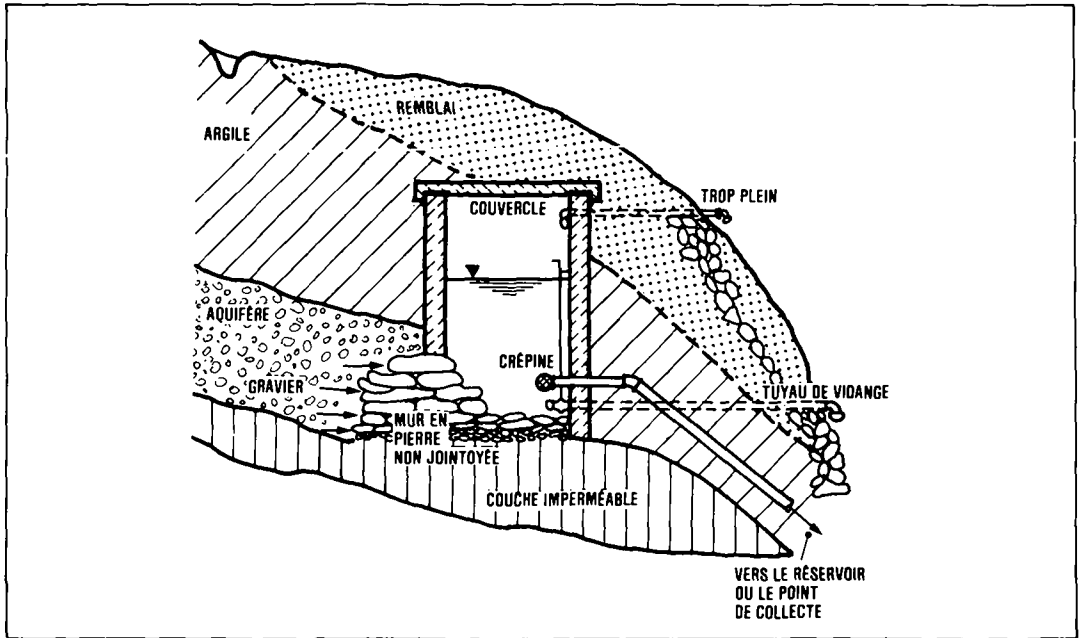


Figure 6.8.
Chambre de stockage d'une eau de source (chambre de la source)

Le drainage est conçu selon les pratiques habituelles en matière de construction. Les drains doivent être installés assez profondément pour que le sol saturé situé au-dessus d'eux agisse comme un réservoir de stockage qui compensera les fluctuations de la nappe d'eau souterraine. L'eau collectée par un drain se déchargera dans une chambre de stockage, que l'on nomme parfois "chambre de la source" (figure 6.8.).

Le dispositif de drainage et la chambre de stockage doivent être construits de manière à empêcher la contamination de l'eau collectée. Avant de construire le fond de la chambre, on se procurera de la pierre tout-venant concassée avec laquelle on établira un mur pour éviter le lessivage du sol. La chambre sera fermée à clef et comportera un trou d'homme avec tampon amovible afin de permettre l'accès pour travaux de nettoyage et d'entretien. Tout orifice d'aération, conduite de trop plein et tuyau d'évacuation d'eau de nettoyage doivent avoir leurs débouchés grillagés. Un fossé d'interception empêchera les eaux ruisselant en surface de pénétrer dans la chambre.

Pour la protection sanitaire, le haut de la masse de graviers doit être au moins à trois mètres en-dessous de la surface du sol; cela pourra se faire en choisissant l'emplacement des captages sur le flanc de la colline, ou en surélevant le niveau du sol par établissement d'un remblai. Une zone s'étendant le long de la galerie sur toute sa longueur, plus 10 m. de chaque côté et, en direction transversale, sur au moins 50 m. à l'amont, doit être protégée contre toute contamination provenant de puisards, de fumier ou de fosses. Cette zone doit être de préférence clôturée pour empêcher le passage des hommes et des animaux. Au-dessus du site de la source, un fossé d'interception est nécessaire pour empêcher tout écoulement de surface de polluer l'eau du captage.

Dans les aquifères à roches fracturées, on pourra utiliser des canalisations entourées de graviers, ou l'eau peut être collectée par des galeries revêtues (figure 6.9.) ou non en fonction de la nature de la formation souterraine. Là où les fissures apportent de forts écoulements ponctuels, on pourra établir une petite structure de captage (figure 6.10.). Cependant, compte tenu de la grande vitesse d'écoulement de l'eau à travers les fissures, la zone de protection sanitaire contre les contaminations doit s'étendre sur une distance importante, au moins 100 m. et de préférence 300 m. à l'amont de la galerie.

6.4 Captage des sources artésiennes

En apparence, les sources de dépression artésiennes sont tout à fait semblables aux sources de dépression à écoulement par gravité, mais leurs débits sont plus grands et moins sujets à variations, car l'écoulement de l'eau vers l'extérieur se fait sous pression.

Pour capter l'eau d'une source de dépression artésienne, la zone où se produisent les arrivées d'eau doit être entourée d'un mur dépassant légèrement le niveau maximal que peut atteindre l'eau dans des conditions statiques. Pour assurer la protection sanitaire, la chambre de stockage doit être couverte (figure 6.11.).

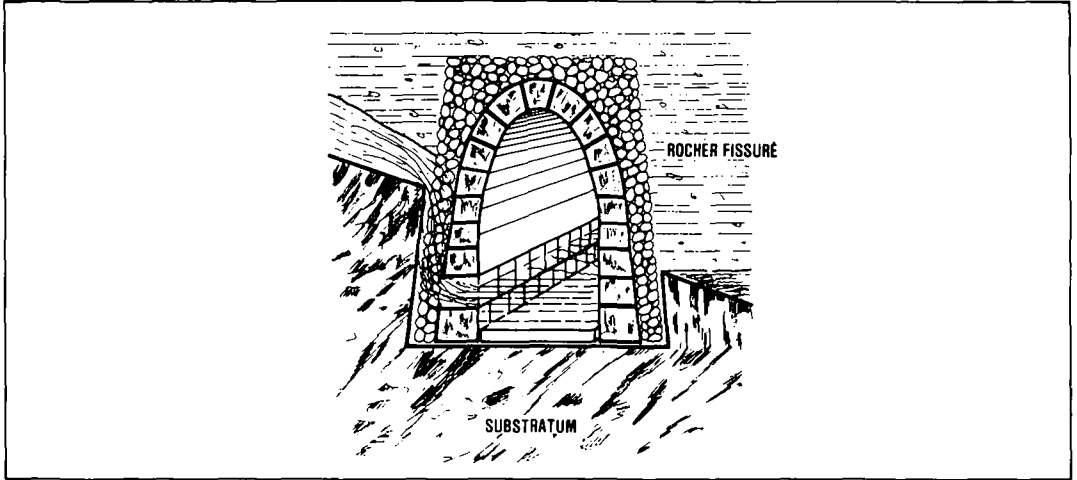


Figure 6.9.
Galerie pour le captage d'une source d'émergence à écoulement par gravité

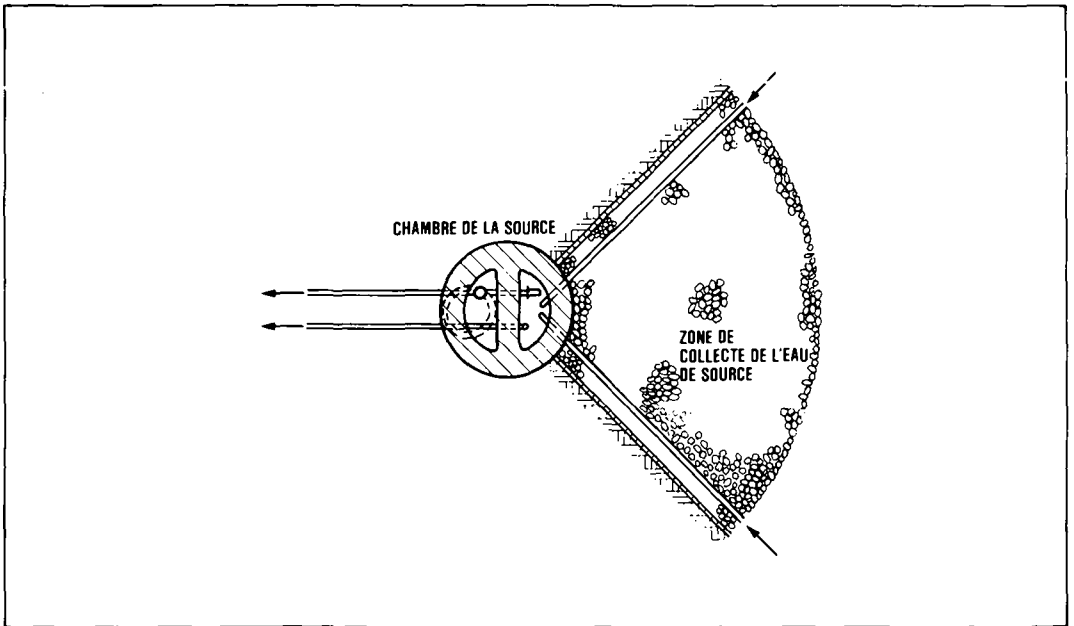


Figure 6.10.
Captage d'une source en provenance d'un aquifère karstique

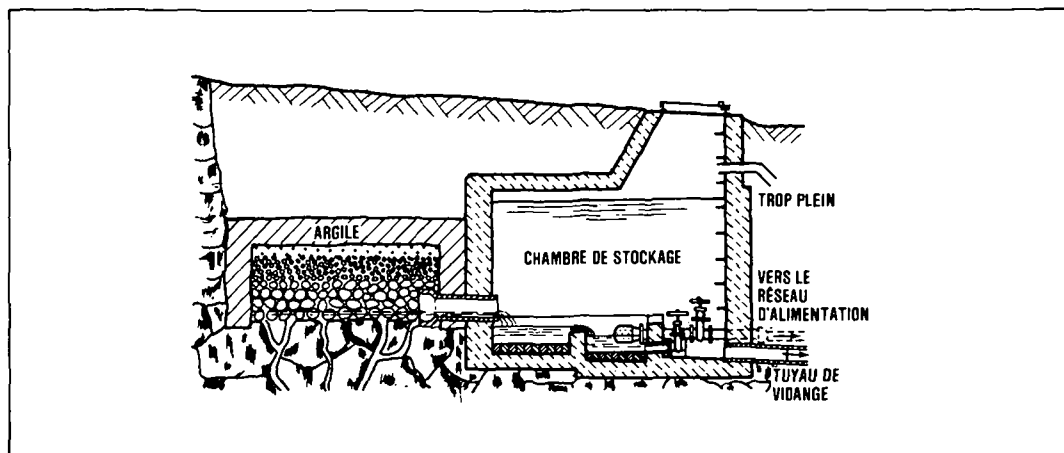


Figure 6.11.
Source de dépression artésienne

Pour les sources de dépression artésiennes largement étendues latéralement, un système de drains déchargera l'eau collectée dans une chambre de stockage d'où elle s'écoule vers la zone à alimenter. Pour accroître les quantités d'eau infiltrées et assurer la protection de la qualité de l'eau, la zone où s'effectue la recharge doit être nettoyée de tous débris. Lorsque cette zone comporte, à sa partie supérieure, des éléments granuleux, il peut être nécessaire de la recouvrir avec une couche de graviers calibrés pour piéger les particules solides fines en suspension.

Les sources de fissure appartiennent à la même catégorie que les sources artésiennes de dépression, mais l'eau provient d'une seule ouverture et les travaux de captage peuvent être alors réduits (figure 6.12.). Une certaine augmentation du débit peut être obtenue en supprimant les obstacles qui peuvent exister au débouché de la source ou en élargissant l'ouverture offerte à l'écoulement (figure 6.13.). Etant donné que l'écoulement est très localisé, la protection sanitaire est facile à aménager.

Les sources artésiennes de contact ont souvent une zone de recharge importante située à une grande distance de la source. L'eau s'écoule sous pression et est protégée de la contamination par la couche imperméable qui la recouvre. L'écoulement peut être important et stable, avec peu ou pas de fluctuations saisonnières. Ce sont des sources excellentes pour l'alimentation en eau des petites collectivités.

Là où l'écoulement n'a lieu qu'en un seul point, le captage ne constituera qu'une petite installation. Pour une source s'étendant largement, on construira un mur de retenue sur toute la largeur de l'émergence avec des butées pénétrant à l'intérieur des couches imperméables.

bles, la fondation du mur étant établie à l'intérieur du substratum. De cette manière, on évitera toute fuite d'eau et tout risque d'érosion ou de destruction. A l'amont du mur, on établira une galerie (figure 6.14.) recouverte d'une couche d'argile pour la protection sanitaire. A partir là, l'eau s'écoule dans le réservoir de stockage. On trouvera une autre structure de captage type sur figure 6.15.

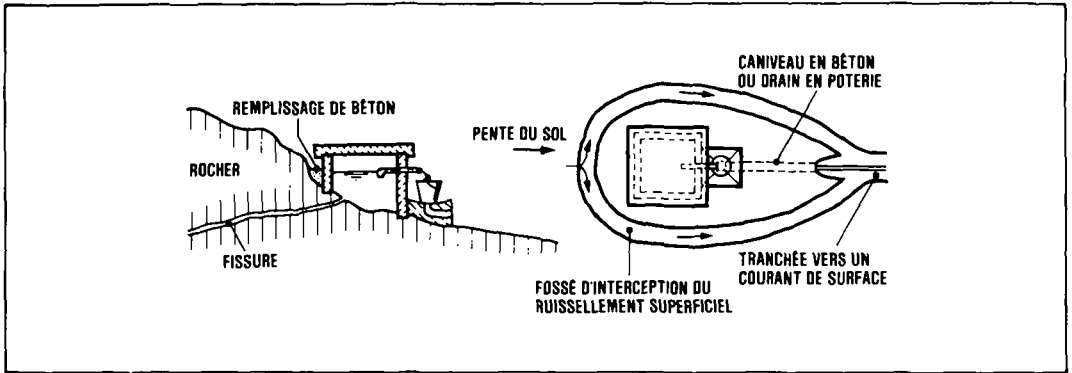


Figure 6.12.
Source de fissure à petit débit

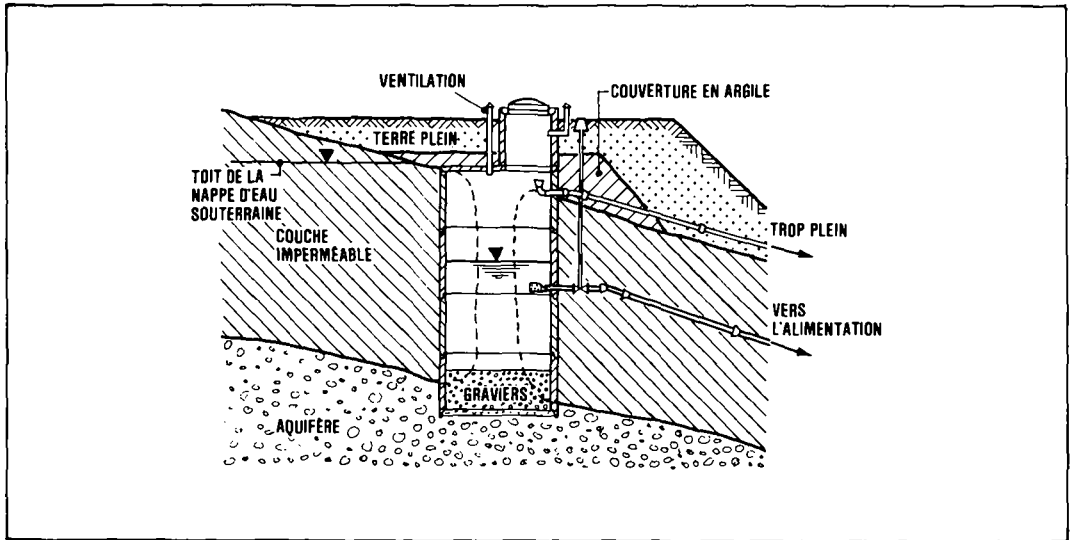


Figure 6.13.
Source de fissure à grand débit

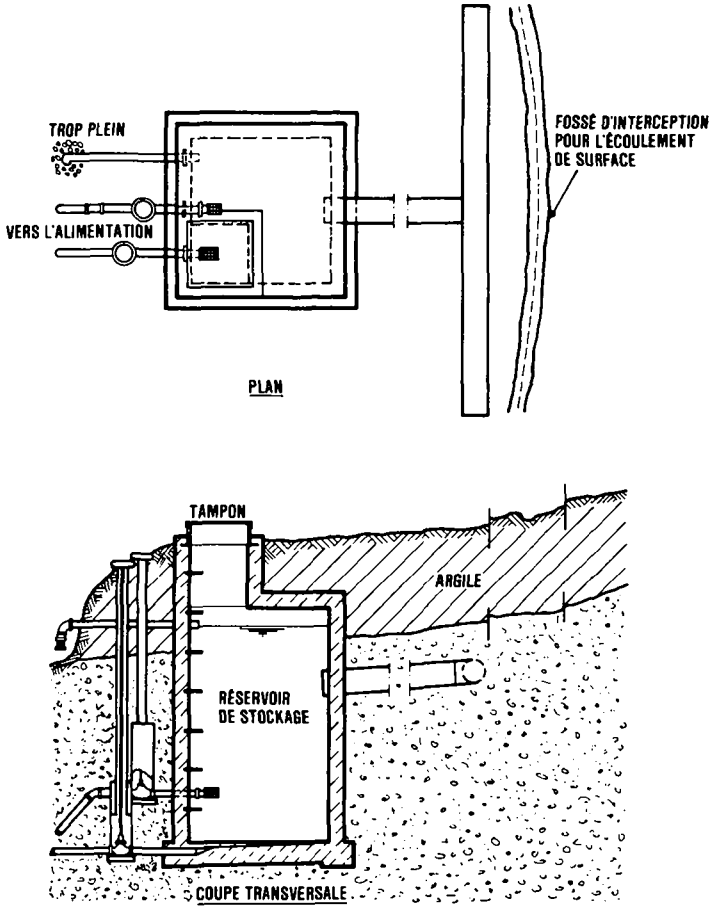


Figure 6.14.
Source artésienne de contact étendue sur une grande largeur latérale

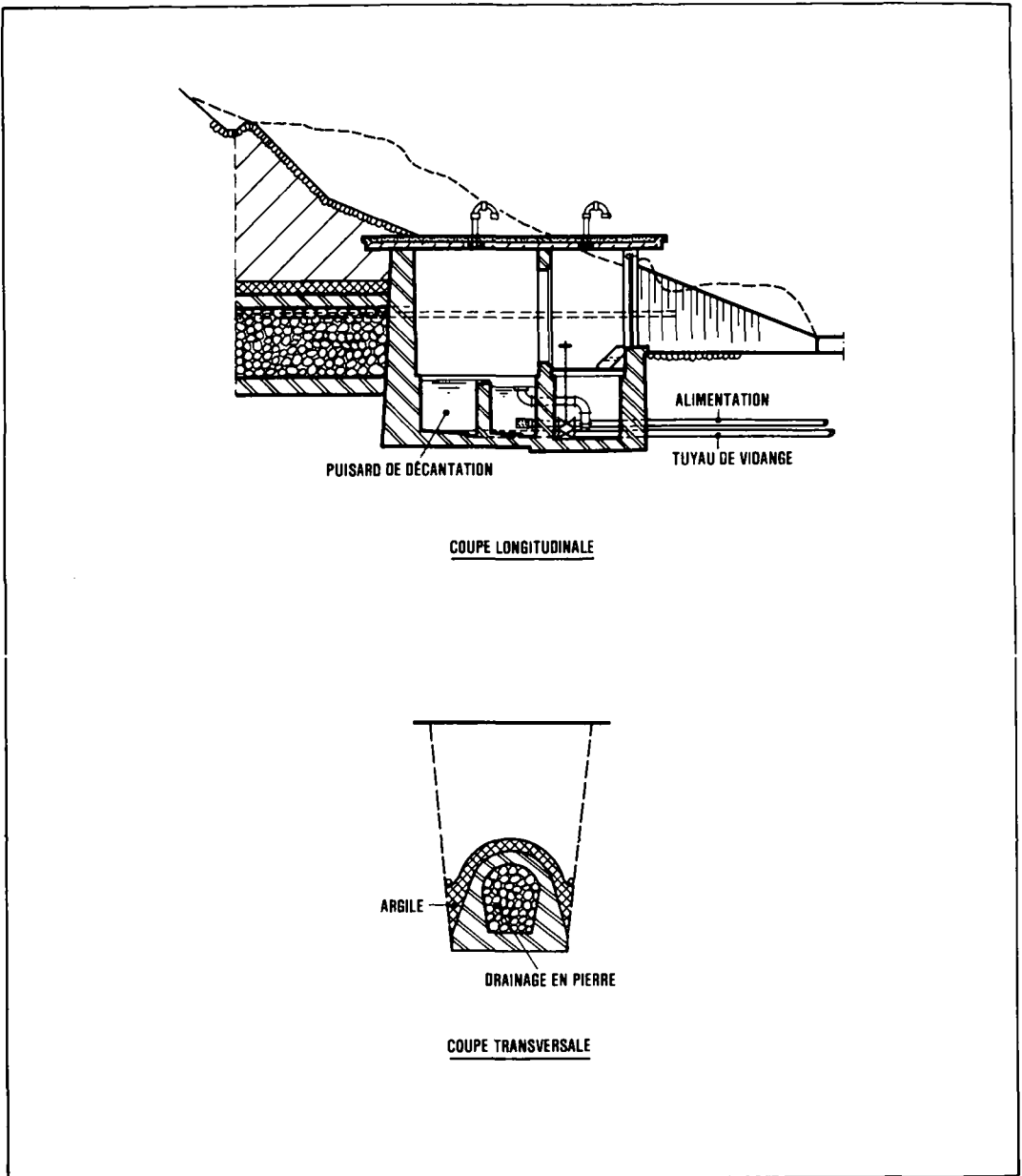


Figure 6.15.
Structure type de captage d'une source

Captage d'une eau de source

Bryan, K.
CLASSIFICATION OF SPRINGS
Journal of Geology, 1919, pp. 522-561

Johnson, C.R.
VILLAGE WATER SYSTEMS
UNICEF, Kathmandu, Nepal, 1976

MORE WATER FOR ARID LANDS
National Academy of Science, Washington D.C., 1974

Savary, I.
INVESTIGATION OF SPRINGS : THE MOST EFFECTIVE METHOD FOR ESTIMATING
WATER RESOURCES IN CARBONATE AQUIFERS
In : Proceedings of the International Symposium on Development
of Groundwater Resources, Resources Journal, Vol. 1 (1973), pp. 53-62

7. exhaure de l'eau souterraine

7.1 Introduction

On a toujours préféré le recours aux eaux souterraines pour l'alimentation en eau des collectivités. En effet, les eaux de surface risquent très souvent d'être contaminées et la plupart d'entre elles sont sujettes à des fluctuations saisonnières. L'exhaure des eaux souterraines peut se poursuivre longtemps après qu'une période de sécheresse ait asséché les rivières et autres cours d'eau. Les eaux souterraines paraissent avoir été jusqu'ici assez peu exploitées pour l'alimentation en eau, par rapport à leur capacité potentielle, dans de nombreux pays.

Fréquemment, les données disponibles sur les ressources en eaux souterraines sont très insuffisantes. Le recours aux eaux profondes nécessite alors des recherches, des travaux de prospection qui fourniront des renseignements sur leurs caractéristiques physiques et chimiques.

Le recours aux eaux souterraines, pour l'alimentation en eau potable et l'irrigation, est très ancien. En Chine, on forait déjà par battage manuel, il y a plus de 3.000 ans, à des profondeurs de 100 m., des puits qui étaient tubés avec des bambous. Des puits ont été creusés manuellement depuis des temps immémoriaux, parfois à des profondeurs considérables, et de tels ouvrages continuent d'être réalisés un peu partout dans le monde. La technologie utilisant des forages pour le captage des eaux souterraines à de grandes profondeurs est plus récente.

Le premier moyen de creusement utilisé, devenu d'une utilisante courante, a été le battage au câble, opérant par percussion. Au cours de plusieurs siècles, la méthode s'est modifiée, à partir de moyens primitifs, pour parvenir à un certain nombre de techniques passablement sophistiquées. La nécessité d'empêcher l'effondrement des formations instables du sous-sol et les problèmes que posait, à une certaine profondeur, l'emploi d'outils lourds indispensables au creusement par percussion, ont encouragé le développement d'autres méthodes d'excavation. On a alors utilisé des éléments rotatifs tranchants, dits trépans, qui pénètrent dans le sol, alors qu'un fluide les traverse (creusement au rotary avec circulation directe). Pour les puits, l'utilisation d'eau chargée en argile soulève des difficultés parce que les aquifères traversés tendent à se colmater. Cela a conduit à développer une méthode de creusement au rotary par circulation inverse dans laquelle un important débit d'eau propre permet d'évacuer du forage les déblais résultant du creusement. L'étape suivante devait logiquement conduire à l'outil pneumatique placé au fond de la partie en cours de forage et, dans les années 1950, on a imaginé la méthode du "marteau fond de trou". Cet outil est apparu remarquablement efficace et l'on peut actuellement faire des trous de petit diamètre, même dans des formations de roches dures, en un temps qui n'est plus qu'une fraction de celui qui était habituellement nécessaire.

Aucune technique particulière de forage ne saurait être applicable à toutes les cir-

constances. La construction d'un puits déterminé doit faire appel à la méthode la plus adaptée aux conditions locales, mais la tendance générale est le recours au forage par rotary qui économise le temps et l'argent. Ainsi les techniques d'exhaure des eaux souterraines ont évolué depuis le simple creusement manuel des puits, la réalisation des fameux qanats (galeries souterraines développées sur plusieurs kilomètres) en Iran et en Afghanistan, jusqu'aux foreuses perfectionnées, capables de réaliser un forage de quelques centaines de mètres, même dans des formations de roches dures.

7.2 Reconnaissance et prospection des eaux souterraines

La recherche de l'eau exige une connaissance de base des différents types de formations aquifères qui peuvent exister dans la croûte terrestre. A partir de là, il convient de mettre en oeuvre une approche de leur recherche.

Reconnaissance

L'eau souterraine se trouve dans les pores, les cavités ou les fissures des formations souterraines. Les pores sont les espaces qui existent entre les grains constituant des éléments minéraux des couches sédimentaires du sol et dans les roches décomposées. Le volume des vides dans une formation souterraine dépend de facteurs comme la taille des grains, leur forme, les matériaux de remplissage et les agrégats qui peuvent exister. La porosité est le rapport du volume des vides au volume total du sous-sol (figure 7.1.). Une grande porosité n'est toujours pas l'indication d'une grande perméabilité (teneur potentielle en eau).

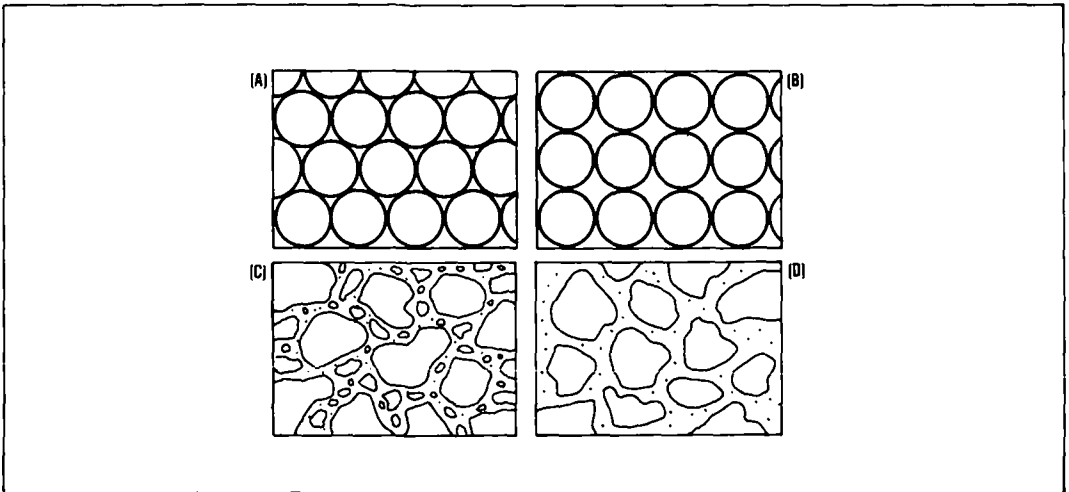


Figure 7.1.
Porosité et texture

Bien que les argiles et les limons aient une grande porosité, les pores sont trop petits pour permettre un écoulement facile de l'eau. Toutes les ouvertures existant dans les roches (joints, plans de stratification et de clivage, crevasses fortuites) sont dites fissures dans la terminologie hydrogéologique. Les roches ignées (1) ne sont pas en général poreuses, à moins d'avoir été décomposées sous l'effet des intempéries. Les laves, qui contiennent des cavités formées par les bulles de gaz qui s'en sont échappées durant l'éruption, peuvent être une exception. Même dans le cas où une formation du sous-sol a une porosité importante, la perméabilité peut être très faible, en l'absence de communication entre les vides. On rencontre également des fissures dans les roches sédimentaires (2).

Les fissurations relativement récentes et non altérées tendent, dans toutes les formations géologiques, à se combler et ne renferment probablement que peu, voire pas d'eau. Les altérations d'origine atmosphérique les font s'ouvrir près de la surface du sol, mais elles demeurent fermées en profondeur.

Les aquifères (formations souterraines porteuses d'eau) qui contiennent la plus grande partie de leur eau dans des joints et dans des fissurations importantes sont dits perméables alors que ceux pour lesquels l'eau se trouve dans les pores de la roche sont dits poreux. Le tableau 7.1. mentionne des types courants de sol et les conditions dans lesquelles l'eau se trouve au sein de ces formations.

Tableau 7.1.
Conditions habituelles de la présence de l'eau

Type de sol	Où se trouve l'eau
- Sables et graviers	- Pores
- Grès	- Pores et fissures
- Calcaire	- Fissures souvent agrandies en cavités
- Craie	- Pores et fissures
- Argile	- Très petits pores
- Roches éruptives	- Fissures et pores dans les zones altérées
- Laves	- Fissures avec pores dans les parties éruptives
- Métamorphique	- Fissures avec pores dans les zones altérées

(1) Roches ignées ou roches éruptives, d'origine volcanique

(2) Roches sédimentaires : sédiments compactés sous l'effet d'une pression (engendrée notamment par une glaciation) jusqu'à produire une roche.

La facilité avec laquelle l'eau peut s'écouler à travers une formation souterraine sous une charge hydraulique est définie par la perméabilité hydraulique. Celle-ci est exprimée par la vitesse d'écoulement de l'eau à travers le sol par unité de gradient hydraulique, par exemple en mm/sec, mètre/jour. Elle dépend de la porosité, de la taille moyenne des pores et de la distribution des fissures (voir tableau 7.2.).

Les couches ayant une perméabilité hydraulique très faible (inférieure à environ 10^{-6} mm/sec) sont considérées comme imperméables; celles qui ont une perméabilité hydraulique supérieure sont considérées comme perméables.

Tableau 7.2.
Porosité et perméabilité hydraulique pour quelques formations géologiques courantes

Matériau	Porosité (%)	Perméabilité hydraulique (en mm/sec)
Argile	45-55	10^{-3} - 10^{-9}
Limon	40-50	10^{-2} - 10^{-6}
Sable	35-40	10^{-2} - 10^{-1}
Gravier propre	40-45	10^3 - 10^1
Gravier sableux	25-40	10^1 - 10^{-2}
Grès	10-20 (pores) (fissures)	10^{-4} - 10^{-6} 10^{-1}
Calcaires	1-10 (pores) (fissures)	10^{-6} - 10^{-8} 10^2
Granit (frais)	1 (pores) (fissures)	10^{-10} 10^2

La figure 7.3. montre la répartition de l'eau à l'intérieur et au-dessus d'une nappe aquifère libre.

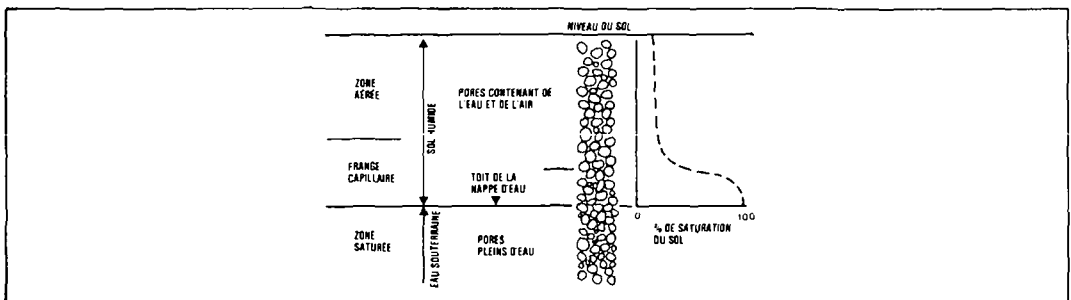


Figure 7.3.
Répartition de l'eau à l'intérieur et au-dessus d'un aquifère poreux et libre

Une nappe aquifère libre est directement alimentée par infiltration de l'eau à partir de la surface du sol (figures 7.4.a et 7.4.b).

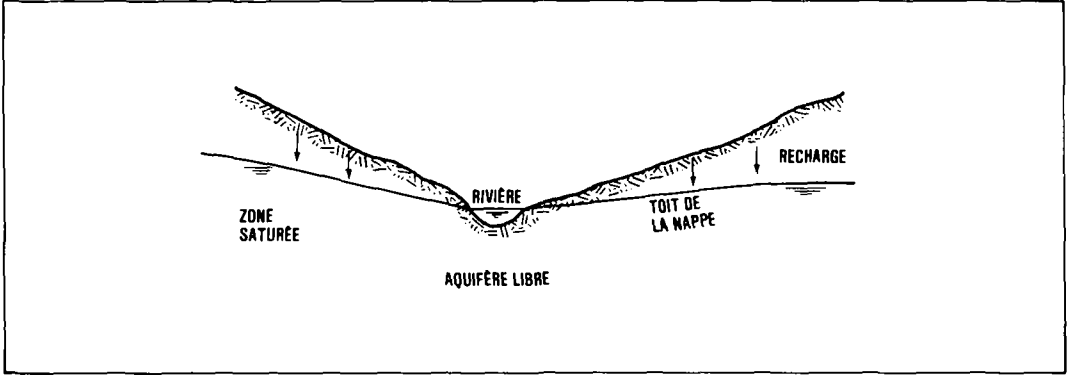


Figure 7.4.a
Infiltration de l'eau dans un aquifère libre en saison humide

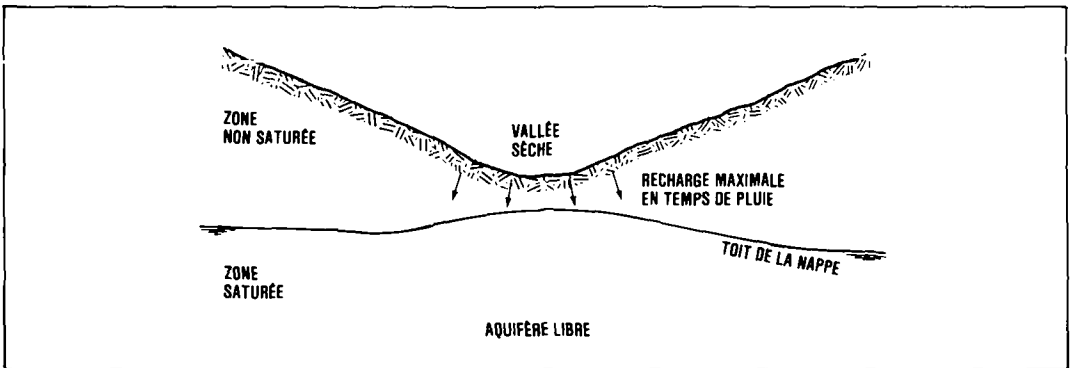


Figure 7.4.b
Infiltration de l'eau dans un aquifère libre en saison sèche

Une nappe captive (figure 7.5.) est constituée par un aquifère recouvert par une couche imperméable. La pression de l'eau dans une nappe captive est liée au niveau de sa zone de recharge.

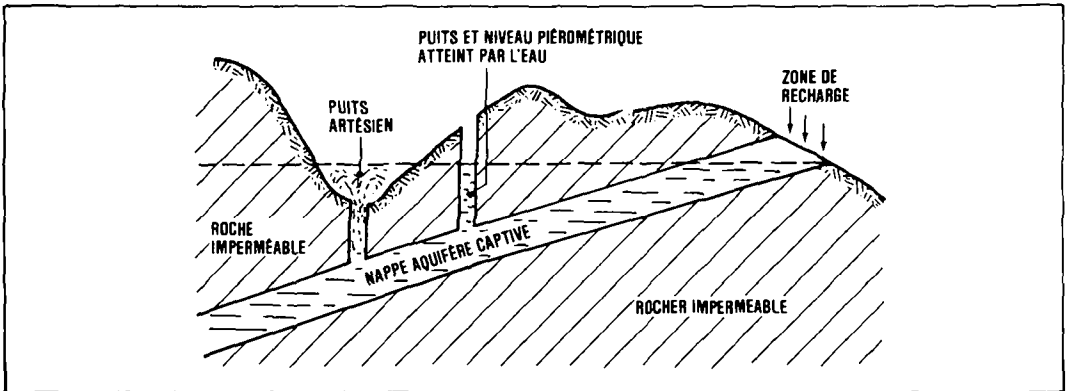


Figure 7.5.
Nappe captive alimentée par une zone de recharge

La pression de l'eau dans une nappe captive peut être mesurée dans un forage où l'on observe le niveau atteint par l'eau : c'est le niveau piézométrique. Si celui-ci est supérieur à la surface du sol, l'eau provenant de la nappe aquifère jaillira naturellement par le trou de forage appelé alors "puits artésien" (écoulement libre).

L'infiltration de l'eau depuis la surface du sol, à travers les terrains perméables vers la nappe d'eau souterraine, sera arrêtée lorsqu'elle rencontrera une couche imperméable telle qu'une lentille d'argile (figure 7.6.). L'eau s'accumulera alors dans le sous-sol au-dessus de cette lentille, formant une nappe perchée quelque peu au-dessus de l'aquifère propre-

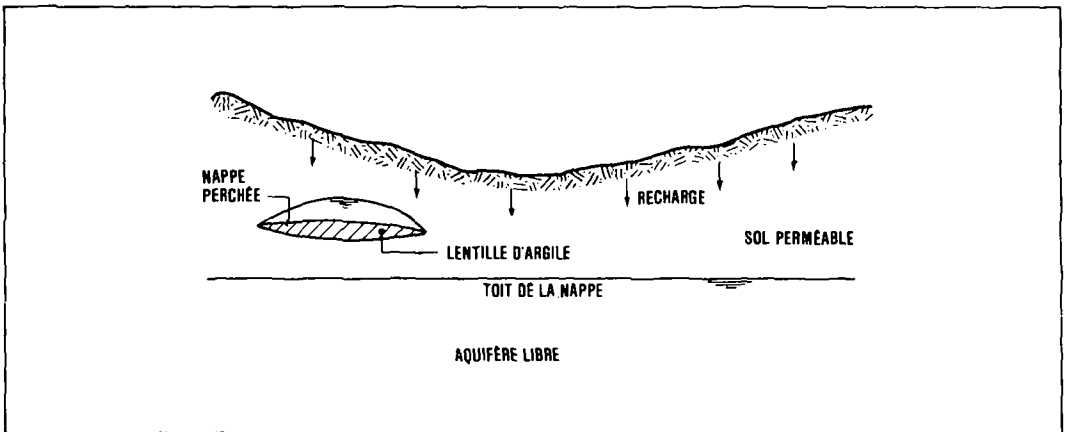


Figure 7.6.
Nappe perchée

ment dit. Il est très important d'identifier une nappe d'eau perchée car la quantité d'eau qu'elle contient est souvent très faible. Les nappes perchées disparaîtront souvent durant les périodes sèches, lorsqu'il n'y a pas de recharge par infiltration provenant de la surface.

Prospection

Le succès d'une prospection d'eau souterraine repose sur la connaissance que l'on a des possibilités de présence d'eau dans les formations souterraines. Sans cette connaissance, aucune exploration efficace n'est possible, et le forage des puits est alors comparable à un jeu de hasard. Le but de la prospection doit être clairement défini. Doit-on alimenter de petites collectivités ou bien doit-on déterminer les caractéristiques d'un aquifère destiné à fournir de l'eau souterraine à toute une région?

On conseillera l'approche suivante: On rassemblera et classera les informations hydrogéologiques concernant la zone d'étude. Ceci peut inclure: cartes et rapports géologiques; cartes topographiques; carnets de sondages; reconnaissance géologique de la surface du sol; données météorologiques et hydrologiques.

A l'appui de ces divers éléments, on réalisera des relevés dans la zone d'étude, de préférence vers la fin de la saison sèche. Dans certains cas, cela suffira pour qu'un hydrogéologue confirmé puisse définir les ressources en eau qui alimenteront de petites collectivités; aucune autre recherche ne sera alors nécessaire. Si des données essentielles manquent, il faudra procéder à certaines études sur le terrain.

Les relevés devront fournir des données de base suffisantes pour permettre le tracé d'une carte hydrogéologique figurant: la répartition des nappes aquifères; toutes les sources ou affleurements d'aquifères existants; la profondeur du toit des nappes et les niveaux piézométriques; les terrains aquifères et la qualité de l'eau qu'on y trouve. Parfois, il est possible de préparer une telle carte en se basant sur l'examen des affleurements et des dispositifs d'alimentation en eau existants; dans d'autres cas, il peut être nécessaire de procéder à des sondages et à des travaux de géophysique. Le recours à des sondages ne sera en général nécessaire que lorsqu'on envisage une exploitation complète d'un certain aquifère; en effet une connaissance de la perméabilité hydraulique et de la capacité de stockage de l'eau est alors nécessaire.

Les investigations géophysiques, particulièrement les mesures électriques de résistivité, sont très utiles pour connaître la répartition et la qualité des eaux souterraines. La valeur de la résistance électrique d'une formation souterraine dépend de la quantité, de la répartition et de la conductivité de l'eau qu'elle contient. Les mesures de résistivité sont effectuées en faisant passer un courant électrique à travers le sol entre deux électrodes et en mesurant la chute de tension qui survient entre deux autres électrodes (figure 7.7.). La profondeur de la pénétration du courant dépend de la distance existant entre les électrodes. En augmentant l'espacement de celles-ci, le courant pénètre plus profondément, et on peut ainsi

déterminer les résistances du sol à diverses profondeurs; si ces opérations sont effectuées près d'un puits existant ou d'un forage pour lequel le niveau, la qualité de l'eau et l'épaisseur de la nappe aquifère sont connus, on pourra établir une corrélation entre les valeurs des résistances et les conditions hydrogéologiques. Cela constituera une base d'interprétation pour des travaux de géophysique effectués dans d'autres zones ayant un faciès géologique voisin; cela fournira aussi des informations sur la profondeur de la nappe d'eau, la qualité de l'eau et l'épaisseur de l'aquifère.

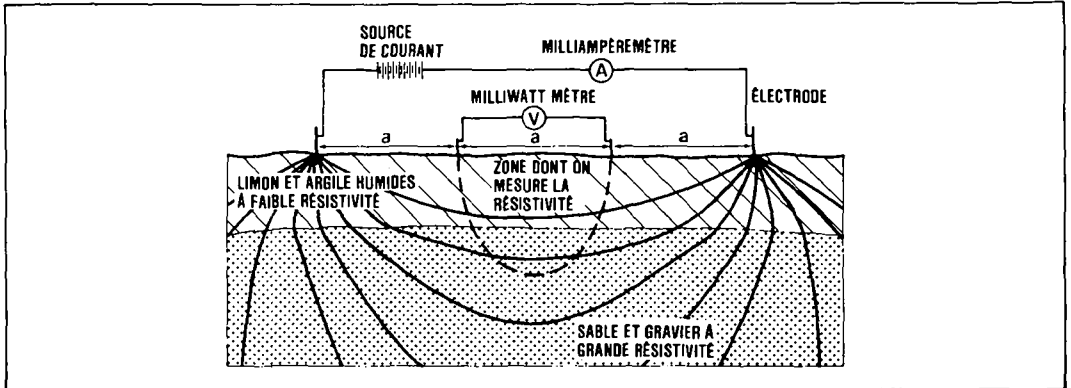


Figure 7.7.
Dispositif de mesure de la résistance électrique

Si les mesures de résistivité sont réalisées sur une zone donnée selon une certaine grille, on pourra tracer sur une carte les lignes correspondant aux résistivités élevées et aux résistivités basses pour chaque écartement des électrodes. Des courbes d'isorésistivité peuvent alors être tracées sur la carte et on déterminera ainsi les zones de faible résistivité, qui sont vraisemblablement les plus perméables, et ont beaucoup plus de chance de constituer des aquifères que les zones de haute résistivité. Parfois, on réalisera de petits forages au titre de la prospection pour préciser les résultats obtenus à partir des travaux de géophysique réalisés depuis la surface.

De tels travaux sont cependant toujours onéreux, et souvent difficiles à exécuter. Pour obtenir le maximum d'information à partir d'un forage, une exploitation géophysique peut être nécessaire. Cela comprend la descente d'instruments au fond du forage pour réaliser des mesures concernant les propriétés de l'eau et du sol. C'est une opération complexe et il convient de toujours s'entourer des conseils d'un géophysicien avant d'entreprendre un tel travail. Les relevés sismiques et de gravitation constituent d'autres techniques plus sophistiquées susceptibles d'être utilisées en matière de recherche d'eaux souterraines.

Prélèvement à ne pas dépasser

Il s'agit de déterminer pour un aquifère l'exhaure maximale qui peut être réalisée

de manière permanente. On pourra ainsi se rendre compte si les quantités d'eau que l'on projette d'utiliser pour l'alimentation d'une collectivité pourront être maintenues à long terme. Théoriquement on ne peut extraire plus d'eau que n'en apporte la recharge naturelle. Une autre limite est qu'il ne faut pas admettre un abaissement du toit de l'aquifère qui induirait la pénétration d'eaux polluées en provenance d'ailleurs. Parfois, un prélèvement d'eau à partir d'un nouveau puits peut provoquer une réduction appréciable du débit des puits existants à proximité. Dans une zone on l'on connaît peu de choses sur l'étendue et la capacité de l'aquifère, le nouveau puits et ceux qui se trouvent à proximité devront faire l'objet d'une surveillance au moins pendant les premiers temps de l'exploitation.

7.3 Méthods d'exhaure de l'eau souterraine

La plus ancienne méthode d'exhaure de l'eau souterraine consiste à creuser un trou dans le sol jusqu'à une profondeur dépassant le toit de la nappe souterraine. En général, la quantité d'eau que l'on peut ainsi obtenir est très limitée; lorsque l'on a besoin d'une plus grande capacité d'exhaure, un large contact doit être établi avec la nappe aquifère. Cela peut se faire par élargissement de l'excavation, en l'approfondissement ou en augmentant à la fois la section et la profondeur. Le choix de la méthode à appliquer dans un cas particulier dépend de l'épaisseur de la formation aquifère et de la profondeur du toit de la nappe souterraine.

Les extensions horizontales du système d'exhaure relèvent du type "galerie". Elles comprennent les fossés d'infiltration (figure 7.8.), les drains d'infiltration (figure 7.9.) et les galeries drainantes (figure 7.10.).

En raison des difficultés et des coûts de l'excavation, les galeries ne sont à pré-



Figure 7.8.
Fossé d'infiltration

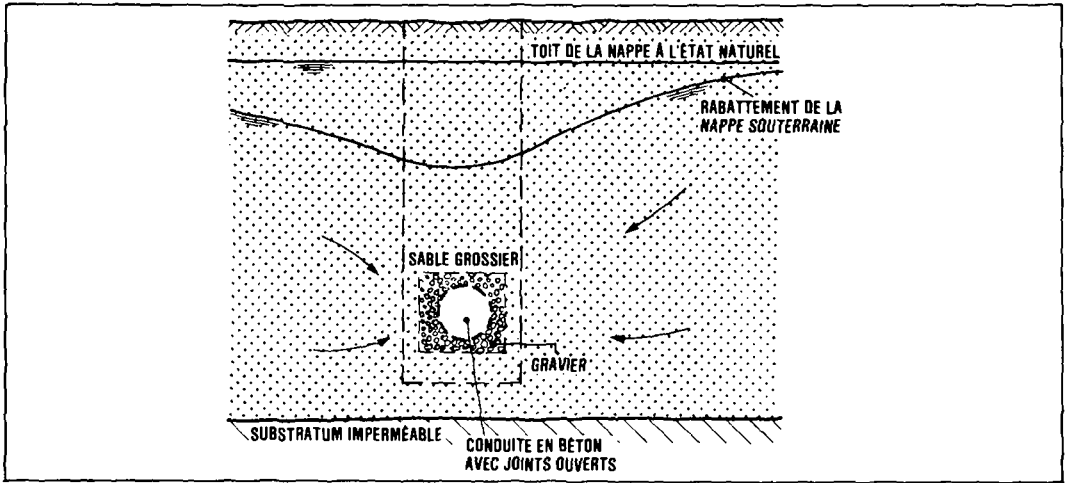


Figure 7.9.
Drain d'infiltration

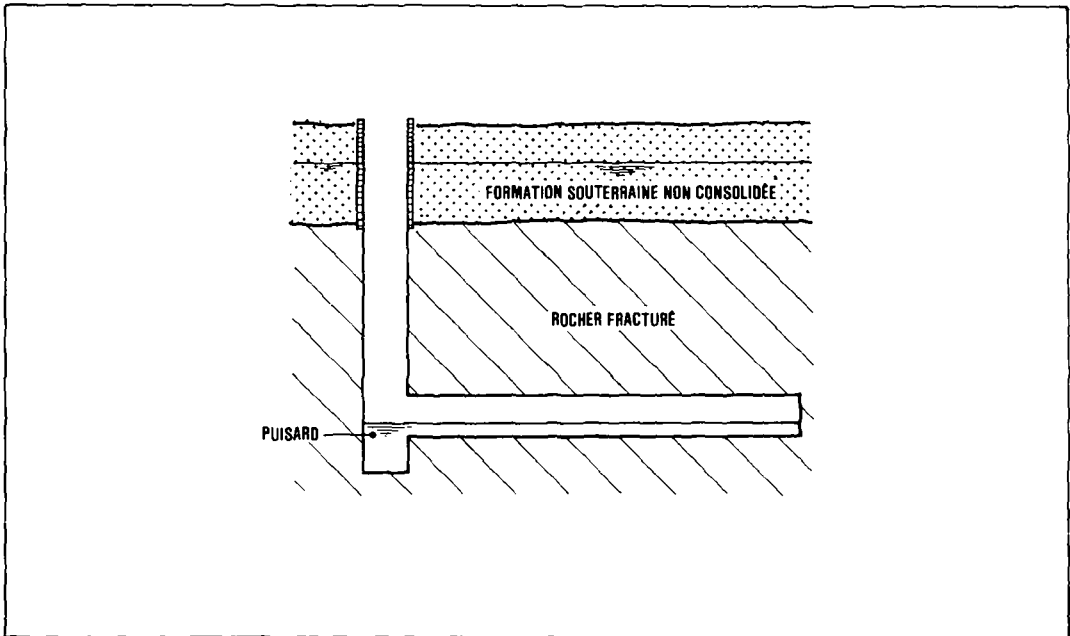


Figure 7.10
Galerie d'infiltration

voir que dans les cas où la nappe d'eau souterraine est à faible profondeur, (pas plus de 5 à 8 m.) en dessous de la surface du sol (les galeries creusées dans des formations solides peuvent encore être économiques à des profondeurs plus importantes). Les galeries constituent la seule solution pratique lorsque l'eau souterraine doit être obtenue à partir de nappes aquifères peu profondes avec une faible épaisseur de la zone saturée. Ces aquifères doivent être exploités à partir d'une vaste zone de contact. Les galeries sont aussi à recommander dans les zones côtières où l'eau douce à extraire surmonte une couche d'eau salée. Le rabattement (1) de la nappe d'eau douce doit alors être aussi faible que possible, pour éviter la montée de l'eau salée qui se mélangerait alors avec l'eau douce.

Les fossés sont faciles à établir, ils peuvent avoir une grande capacité et une longue durée de vie. Cependant, les fossés étant ouverts, l'eau collectée n'est pas protégée contre les contaminations, ce qui la rend moins bien adaptée à l'utilisation comme eau de boisson. Les drains d'infiltration et les galeries sont plus coûteux à construire, et plus difficiles à concevoir. Les drains peuvent s'engorger. Les drains et les galeries étant complètement souterrains, l'eau collectée est protégée de toute contamination provenant de la surface du sol.

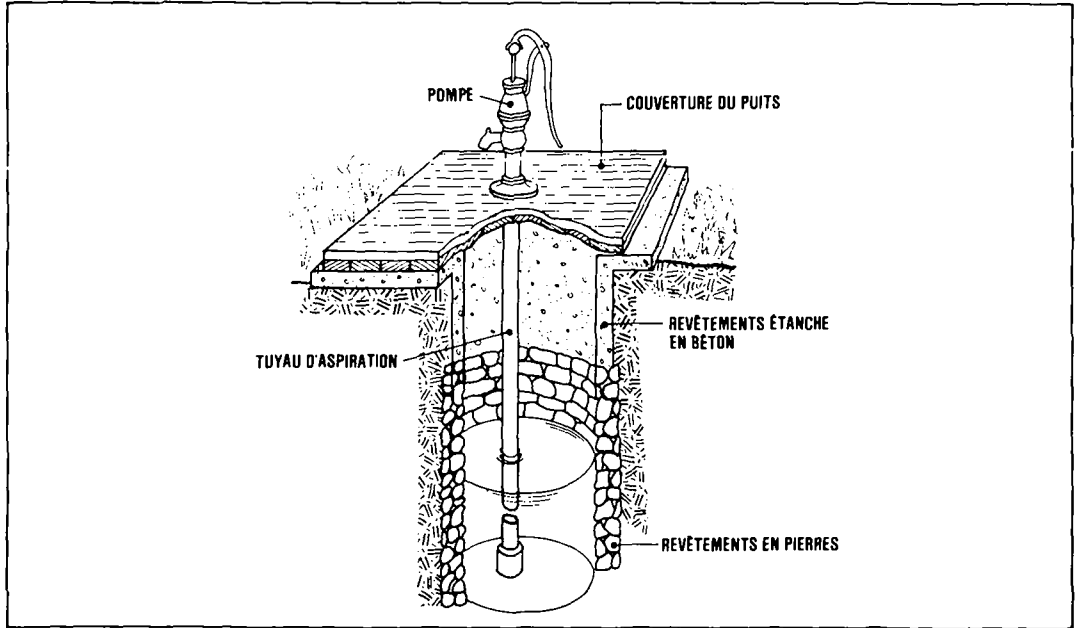


Figure 7.11.
Puits

(1) Rabattement : abaissement de la nappe d'eau souterraine autour d'un dispositif d'exhaure, résultant de l'extraction de l'eau

Les ouvrages verticaux d'exhaure des eaux souterraines comprennent les puits de grand diamètre (figure 7.11.) et des forages de petit diamètre (figure 7.12.). Les forages sont à utiliser lorsque la nappe d'eau souterraine est à une profondeur considérable en dessous de la surface du sol, mais ils ne sont productifs que dans les aquifères d'épaisseur suffisante. Les puits ont en général un débit limité qui restreint leur utilisation à l'alimentation individuelle ou autres petits dispositifs d'alimentation. L'importante section de l'ouvrage forme réservoir de stockage et permet de faire face aux besoins de pointe. Le débit des forages varie largement, de moins d'un litre par seconde pour les forages de petit diamètre peu profonds, creusés dans des aquifères constitués de sable fin, à plus de 100 litres par seconde pour les puits profonds de grand diamètre creusés dans des sables grossiers ou dans des roches sédimentaires. Les forages sont très bien adaptés aux installations d'alimentation en eau de boisson car les précautions à prendre pour protéger l'eau de toute contamination sont très faciles à mettre en oeuvre. Parfois, on peut utiliser une batterie de forages placés en série et pompés à partir d'un seul dispositif d'exhaure (figure 7.13.).

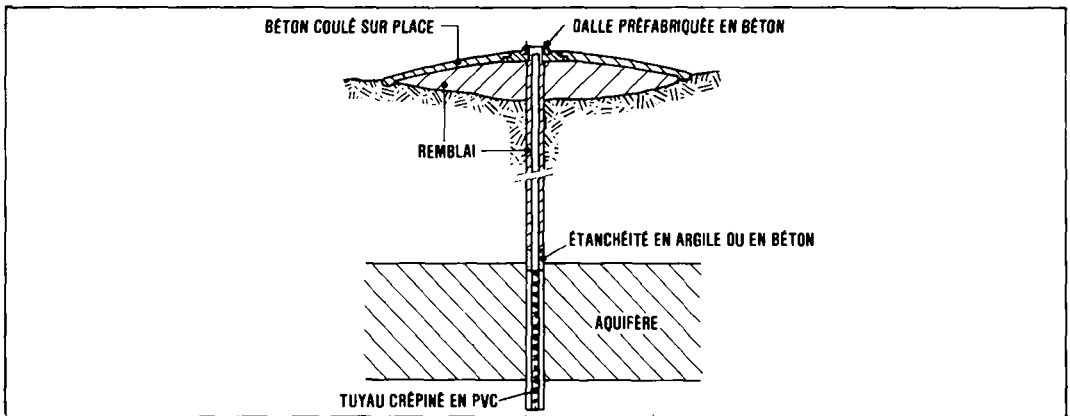


Figure 7.12.
Forage

Lorsqu'il existe une couche aquifère épaisse à faible profondeur, on peut utiliser des dispositifs verticaux ou horizontaux ou une combinaison de ceux-ci; la possibilité technique de mise en oeuvre dépendra largement des conditions géologiques locales. Il est beaucoup plus difficile de réaliser une exhaure d'eau souterraine lorsqu'on doit recourir à un aquifère mince situé à une profondeur considérable. La zone saturée étant alors a priori peu épaisse, on n'aura pas recours à des forages. Les fossés et les drains ne conviennent pas, compte tenu de l'importance des terrassements qu'ils exigeraient. Parfois, dans un sol consolidé, on pourra creuser des galeries. Pour des sols non consolidés, on envisagera des puits à drains rayonnants (figure 7.14.). Cependant, de tels ouvrages doivent faire appel à des spécialistes tant pour leur conception que pour leur construction; ils sont donc en général assez peu adaptés à de

petites installations d'alimentation en eau.

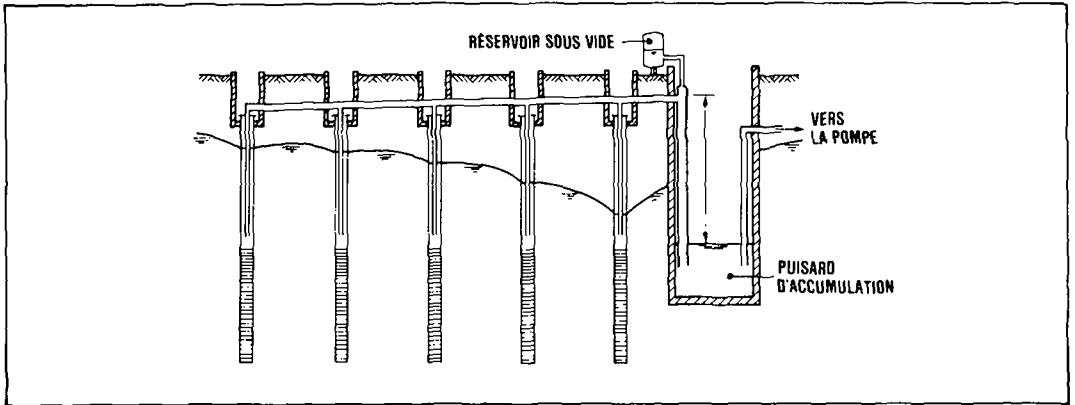


Figure 7.13.
Batterie de forages

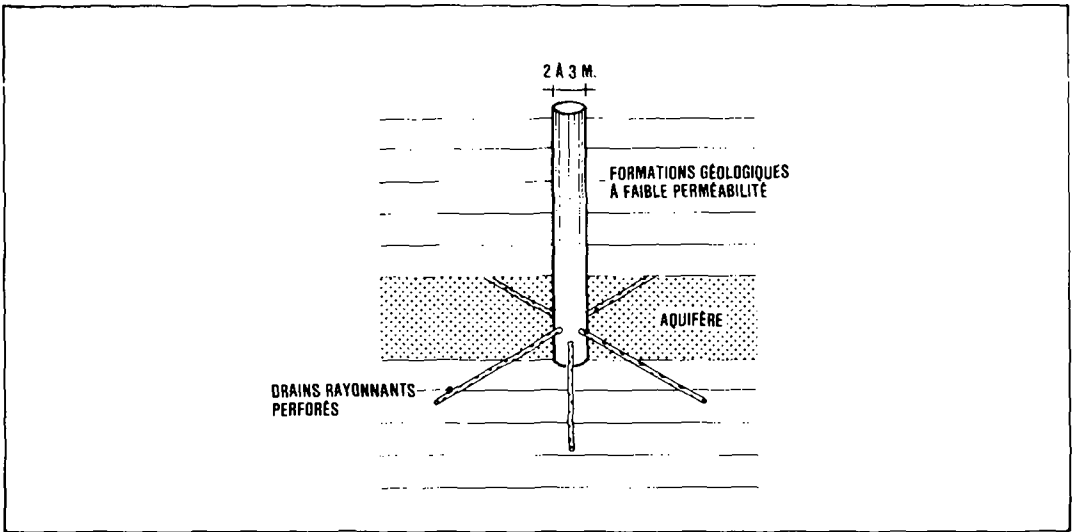


Figure 7.14.
Puits à drains rayonnants (1)

(1) Appelé également "puits Ranney"

Lorsqu'on réalise une exhaure d'eau souterraine, on observe toujours un rabattement de la nappe. En principe, toutes les autres exhaures déjà réalisées sur le même aquifère s'en trouvent influencées. L'effet des exhaures d'eau souterraine pour l'alimentation en eau des collectivités n'est en général pas considérable, mais pour d'importantes exhaures, telles que celles qui sont fréquemment effectuées pour l'irrigation, on doit étudier soigneusement les effets susceptibles d'être induits par un rabattement appréciable de la nappe. Il peut être nécessaire de procéder à un essai de pompage qui fournira une base d'estimation du rabattement à prévoir pour la nappe d'eau (figure 7.15.).

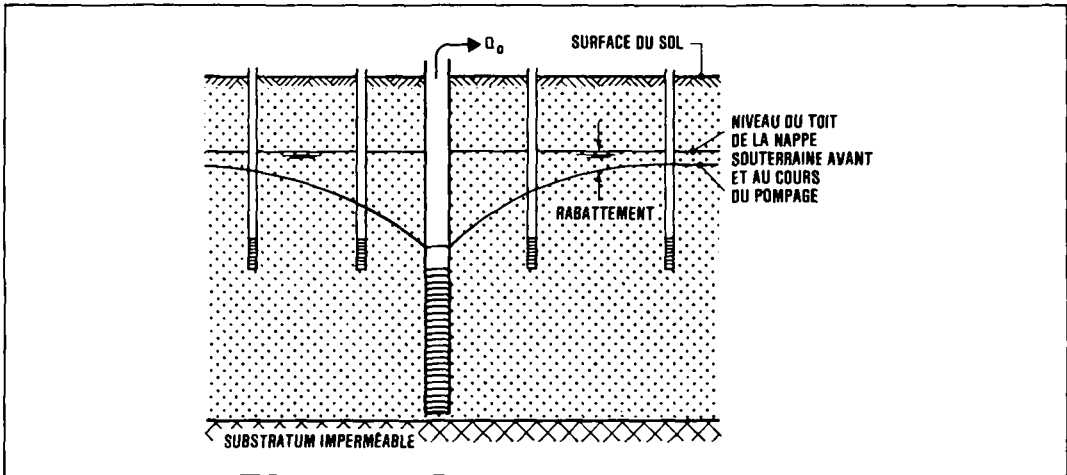


Figure 7.15.
Essai de pompage

7.4 Galeries d'infiltration

Les fossés utilisés pour la collecte des eaux souterraines établissent une coupure dans le sol qui rend accessible la nappe aquifère par son toit. Ils sont faciles à construire soit manuellement soit à l'aide d'un équipement mécanique. La conception du dispositif ne soulèvera que peu de problèmes. Les exigences les plus importantes sont les suivantes (voir figure 7.16.) :

- a) la largeur et la profondeur doivent être suffisantes pour assurer un bon écoulement de l'eau collectée à une vitesse lente (en général inférieure à 0,1 m/sec) afin d'empêcher l'érosion des parois du fossé et de limiter les pertes de charge.
- b) La profondeur du fossé doit être supérieure à 1,0 m. et de préférence 1,5 m., afin de limiter la pénétration dans l'eau de la lumière solaire qui stimulerait la

croissance des plantes et des algues et entraînerait une résistance à l'écoulement.

- c) Les parois du fossé doivent être en pente douce afin d'assurer leur stabilité. C'est particulièrement important pour la partie où l'aquifère se trouve en contact avec les parois du fossé.
- d) Pour les fossés profonds, il est souhaitable de prévoir une banquette horizontale d'environ 0,5 m. de large au-dessus du niveau normal de l'eau afin de faciliter l'accès pour le nettoyage et l'entretien.

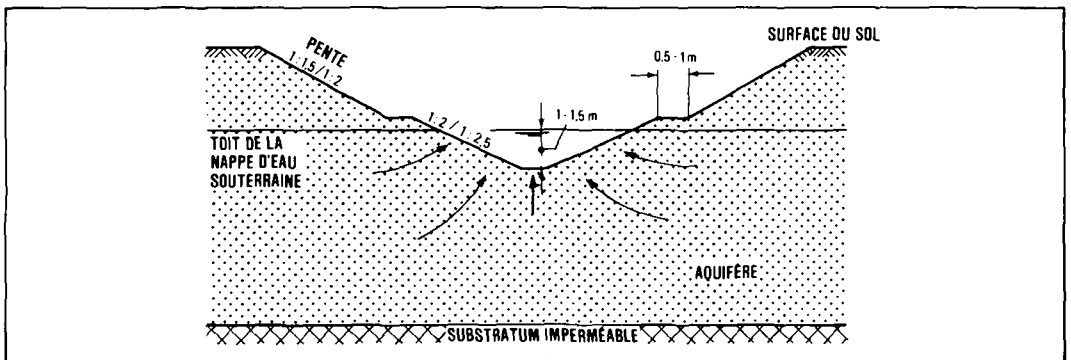


Figure 7.16.
Schéma d'un fossé d'infiltration

Les fossés étant ouverts, l'eau souterraine collectée risque d'être affectée par des pollutions, des contaminations bactériennes et des croissances d'algues.

Les drains (figure 7.17.) sont formés d'éléments poreux, ou comportent des perforations ou des joints ouverts qui permettent à l'eau souterraine d'y pénétrer. Les drains poreux peuvent être réalisés avec des matériaux tels que de l'argile ou du béton "grossier" obtenu avec des graviers de la taille d'un pois et un mélange de ciment, sans sable. Les drains perforés sont, pour la plupart, soit en argile vitrifiée cuite au four, soit en plastique ou en bois. Les drains à joints ouverts sont en général en béton ou en fibrociment.

Le choix du matériau à employer pour un dispositif particulier de drains dépend de la solidité requise, de la résistance à la corrosion indispensable pour le type d'eau souterraine à collecter et, par dessus tout, des prix et des disponibilités. Les perforations du drain seront réalisées sur toute sa surface, lorsque le drain baigne complètement dans l'aquifère. Pour les drains placés dans la partie haute de la nappe, les perforations seront établies sur le côté du drain et, pour les drains placés dans la partie basse de l'aquifère, on n'aura des perforations que sur la partie supérieure du drain.

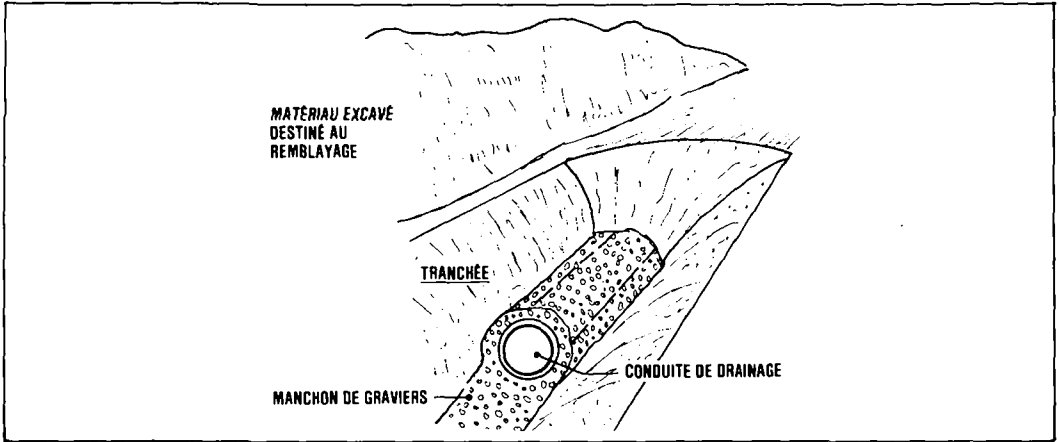


Figure 7.17.
Construction de drain

Dans les formations grossières, telles que des graviers, les trous pratiqués dans le drain seront de petite taille pour éviter l'entrée des matériaux constituant le sol. Dans des sables fins ou moyens, les drains perforés et les drains à joints ouverts doivent être disposés dans une ou plusieurs couches de graviers ou de sable grossier, pour empêcher que le sable fin de l'aquifère pénètre dans les drains. La couche extérieure doit être assez fine pour retenir les matériaux constituant l'aquifère; les matériaux de la couche intérieure seront suffisamment gros pour ne pas pouvoir passer par les ouvertures des drains. Pour une nappe aquifère de sable dont les grains ont environ 0,2 mm, le gravier sera disposé en deux couches, chacune d'environ 10 cm d'épaisseur, avec des tailles de grains de 1 à 2 mm et 4 à 8 mm. Les trous des drains peuvent alors avoir 3 mm de diamètre. Lorsque les drains sont à joints ouverts avec un interstice de 10 mm, on prévoira une troisième couche de gravier de 15 à 30 mm.

Les facteurs les plus importants pour la conception d'un système de drains sont leur diamètre interne et la profondeur à laquelle ils sont établis, avec les manchons de graviers qui les entourent, en dessous du toit de la nappe souterraine.

Malgré le gravier, quelques matières en suspension peuvent pénétrer dans le drain. Si ces matières viennent à s'accumuler, elles peuvent boucher le drain; pour éviter cela, les dimensions des drains doivent être telles que la vitesse d'écoulement de l'eau qu'ils recueillent soit suffisante pour entraîner tout dépôt de limons. Pour que les drains soient auto-cureurs, cette vitesse doit être supérieure à 0,5 m/sec., sans excéder 1,0 m/sec., faute de quoi les pertes de charge par frottement seraient trop élevées. Il en résulterait une inégale répartition des pertes de charge et des prélèvements d'eau tout le long des drains; afin de tenir compte du fait que les débits s'accroissent le long du parcours, il peut être

nécessaire de mettre en oeuvre des drains dont les sections vont en s'accroissant. Il est évident que, compte tenu des coûts de terrassement, les drains ne doivent pas être établis plus profondément qu'il est nécessaire. Cependant, les drains doivent rester complètement immergés dans l'eau souterraine, la partie supérieure du manchon de graviers étant à, au moins, 0,50 m. de profondeur même à la fin d'une longue période sèche lorsque la nappe d'eau souterraine est vraisemblablement à son niveau le plus bas. Partant du niveau du toit de la nappe d'eau souterraine, le projeteur doit prévoir un rabattement de 1 m. au moins, auquel il convient d'ajouter une hauteur supplémentaire de 1 mètre pour tenir compte des périodes de sécheresse. La partie supérieure du manchon de graviers doit être ainsi à au moins 2,5 m. au-dessous du toit de la nappe d'eau existante. Lorsqu'il y a du fer et du manganèse dans l'eau de la nappe souterraine, il y a un risque sérieux de dépôt de ces métaux qui peuvent obturer les trous des drains et colmater le manchon de gravier. Il est alors nécessaire de disposer les drains plus profondément à quelque 4 à 5 m. en-dessous du toit de la nappe d'eau existante, pour éviter l'entrée dans les drains d'oxygène qui provoquerait des dépôts de fer et de manganèse.

7.5 Puits ordinaires

Les puits ordinaires se réalisent simplement, en creusant un trou dans le sol. Ils sont très utilisés dans de nombreux pays et donnent des résultats très satisfaisants dans de bonnes conditions. En général, aucun équipement ou compétence spécial n'est nécessaire pour leur construction.

L'expérience montre que le diamètre d'un puits doit être d'au moins 1,2 m. si deux hommes sont amenés à travailler ensemble au fond durant son creusement. Pour un puits desservant une simple habitation ou une ferme, ce diamètre minimal est en général suffisant mais si l'on doit desservir davantage de monde, on devra aménager un puits plus important, d'un diamètre de 2 à 3 m.. Une augmentation ultérieure de la taille d'un puits est rarement utile, car le supplément de débit que l'on obtiendrait serait vraisemblablement très faible. Etant donné leurs dimensions importantes (volume et diamètre), les puits ordinaires permettent à la fois l'exhaure de l'eau et son stockage.

Du fait de cette capacité de stockage, on pourra temporairement puiser des quantités d'eau plus grandes que n'en fournissent les apports. L'effet de stockage est particulièrement important lorsque les usagers ne puisent de l'eau que quelques heures dans la matinée ou dans la soirée.

La profondeur à laquelle un puits peut et doit être creusé dépend largement du type de sol et de la fluctuation de la nappe d'eau souterraine. Un facteur important est la stabilité du sol et le coût du creusement. Les puits privés ont généralement moins de 10 m. de profondeur. Les puits ordinaires pour l'utilisation commune sont fréquemment beaucoup plus profonds; 20-30 m. n'est pas inhabituel et des profondeurs plus importantes de 50 m. et plus ont été atteintes.



WFP Photo by G. de Sabatino

Figure 7.18.
Puisage dans un puits ordinaire avec chemisage en béton (Togo)

La plupart des puits doivent avoir un revêtement intérieur. On utilise pour cela des matériaux tels que briques, pierres, maçonnerie, béton coulé dans un coffrage établi à l'intérieur du trou, ou buses de béton préfabriquées. Le revêtement permet, durant la construction, d'éviter les éboulements et les effondrements qui combleraient le puits. Après achèvement de l'ouvrage, il retient les parois. Dans un sol dur tel que du rocher, le puits peut rester sans revêtement, mais il est toujours recommandé de chemiser la partie supérieure (figure 7.19.). Dans des sols non consolidés, le puits doit être revêtu sur toute sa hauteur (figure 7.20.). La section du puits qui pénètre dans l'aquifère doit comporter un revêtement muni de barbacanes ou d'ouvertures permettant à l'eau souterraine de s'écouler dans le puits.

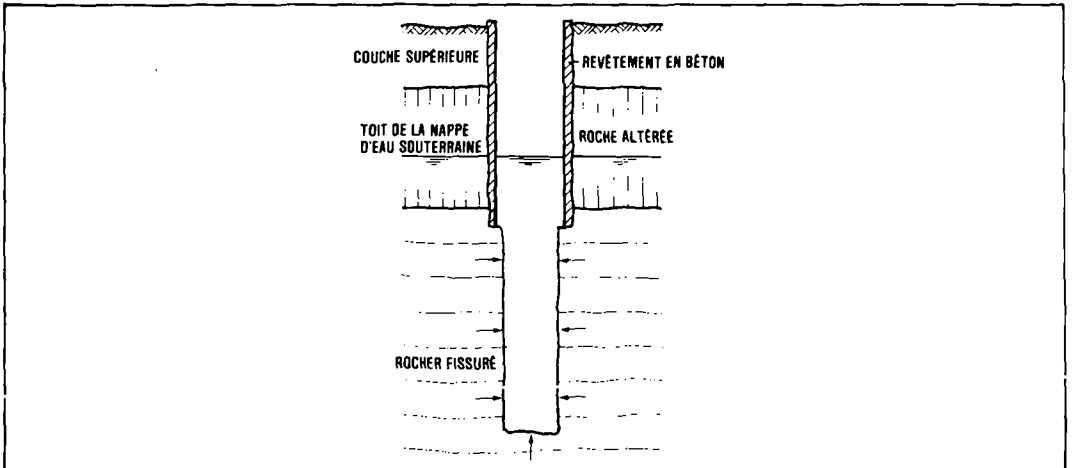


Figure 7.19.
Puits creusé dans une formation rocheuse

Dans les aquifères constitués de sable fin, il est impossible d'établir dans le revêtement intérieur des barbacanes ou des orifices assez petits pour retenir le sable fin et l'empêcher de pénétrer dans le puits. Le revêtement intérieur est alors souvent établi sur toute la profondeur du puits sans aucune barbacane ou orifice. Dans ces conditions, l'eau souterraine n'entre dans le puits que par le fond qui est recouvert de plusieurs couches de graviers calibrés qui retiennent le sable de l'aquifère (figure 7.20.). Par exemple, on disposera trois couches de graviers calibrés, chacune de 15 cm d'épaisseur, avec des éléments ayant les tailles suivantes : 1 à 2 mm pour la couche la plus profonde, 4 à 8 mm, pour la couche intermédiaire et 20 à 30 mm pour la couche supérieure.

Le revêtement d'un puits réalise également une étanchéité vis à vis de l'eau polluée qui s'infiltré par la surface. Cette protection sera moins efficace si le puits est ouvert, car l'eau sera alors toujours plus ou moins polluée, spécialement si elle est puisée à l'aide d'une corde et d'un seau. Des précautions minimales sont alors à prendre : on montera le

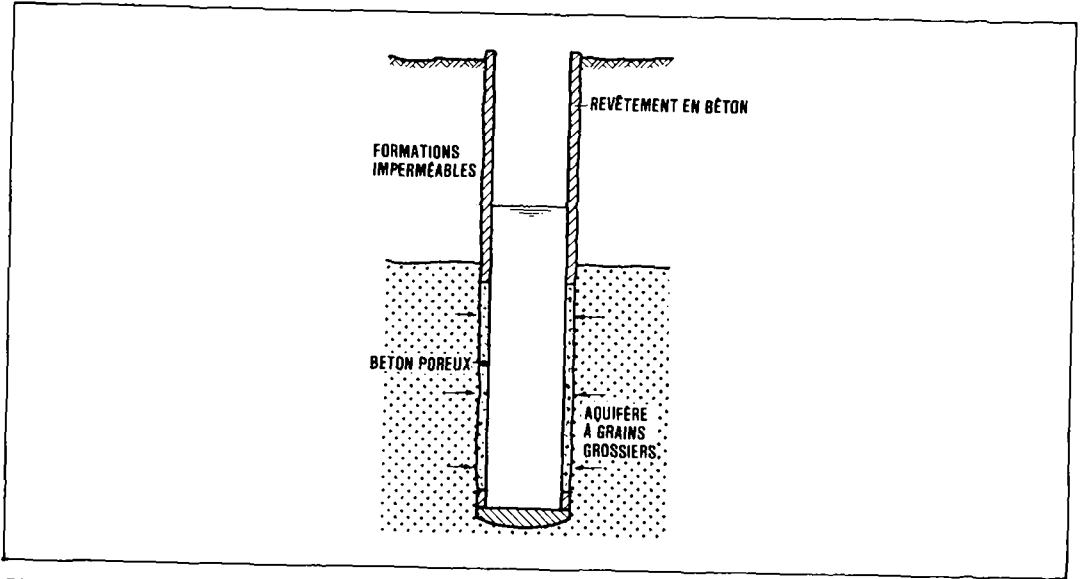


Figure 7.20.
Puits creusé dans un matériau granuleux grossier

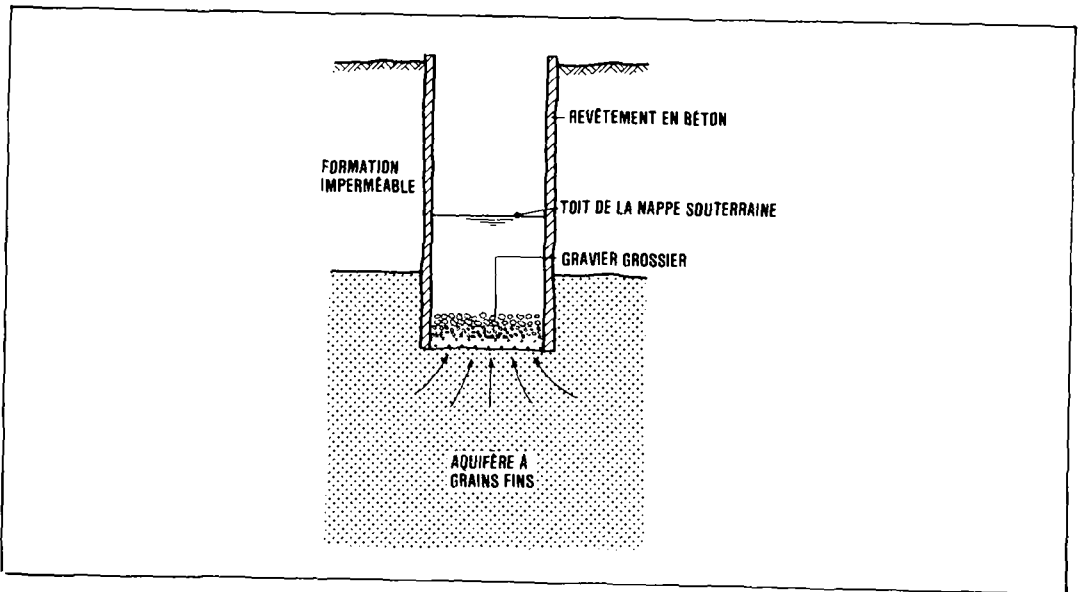


Figure 7.21.
Puits établi dans un aquifère à grains fins

revêtement du puits à au moins 0,5 m. au-dessus du sol pour former une margelle autour du trou. Un revêtement en béton sera établi sur la surface du sol en formant une couronne de 2 m. de diamètre tout autour du puits. Ce revêtement en béton étanche évite aussi que des eaux de surface puissent polluer le puits en s'infiltrant dans le sol et en atteignant des fissures qui existeraient dans le revêtement du puits.

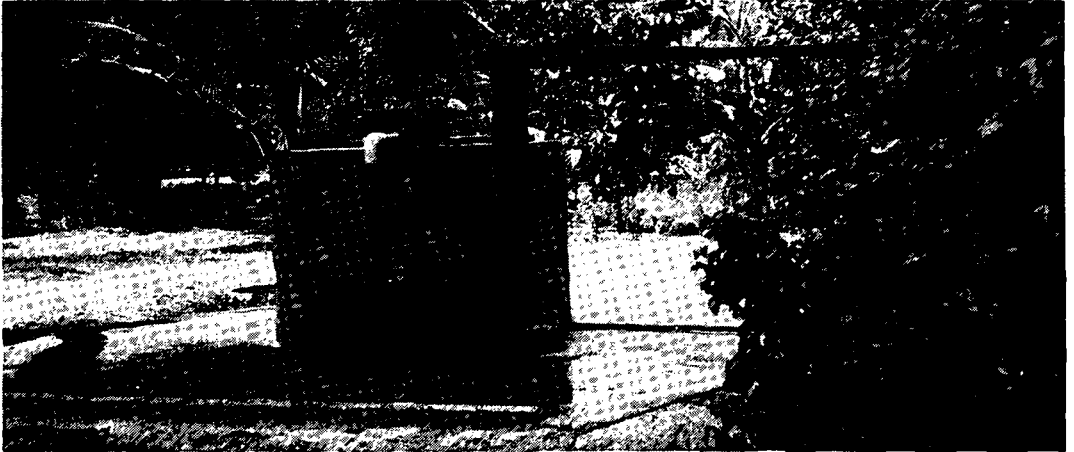


Figure 7.22.
Puits couvert équipé d'une pompe à main (Israël)

Toutes ces mesures n'ont qu'un effet limité, si le puits reste ouvert. On ne peut obtenir une eau satisfaisante sur le plan bactériologique que si la partie supérieure du puits est complètement fermée avec une dalle étanche à l'eau sur laquelle est montée une pompe qui réalise l'exhaure (figure 7.23.).

Un trou d'homme pouvant être fermé hermétiquement de façon très sûre est à aménager afin de permettre une désinfection par chloration de l'eau du puits. Quoique simple en soi, l'étanchéité des puits n'est pas toujours réalisable, particulièrement lorsque les conditions de mise en place de la pompe sont médiocres et que la maintenance ne peut être assurée de façon correcte.

Les puits sont parfois construits dans une excavation temporaire drainée et étayée si nécessaire pour éviter les effondrements (figure 7.24.). On peut utiliser n'importe quelle sorte de matériau de construction. Par mesure d'économie et pour des raisons de solidité et de stabilité, on préférera recourir à des parois circulaires. On utilise largement la maçonnerie et la brique; le béton armé est également très employé, pré-fabriqués ou coulés sur place. Pour permettre l'entrée de l'eau souterraine dans le puits, les revêtements en maçonnerie ou en briques sont construits à joints ouverts. Avec des revêtements en béton, de courts tronçons de tubes métalliques ou plastiques sont disposés lors du coulage pour obtenir les ouvertures nécessaires.

Pour éviter toute intrusion d'eau polluée en provenance de la surface du sol, le remplissage de béton doit être effectué avec grand soin, par couches minces qui seront vigoureusement damées.

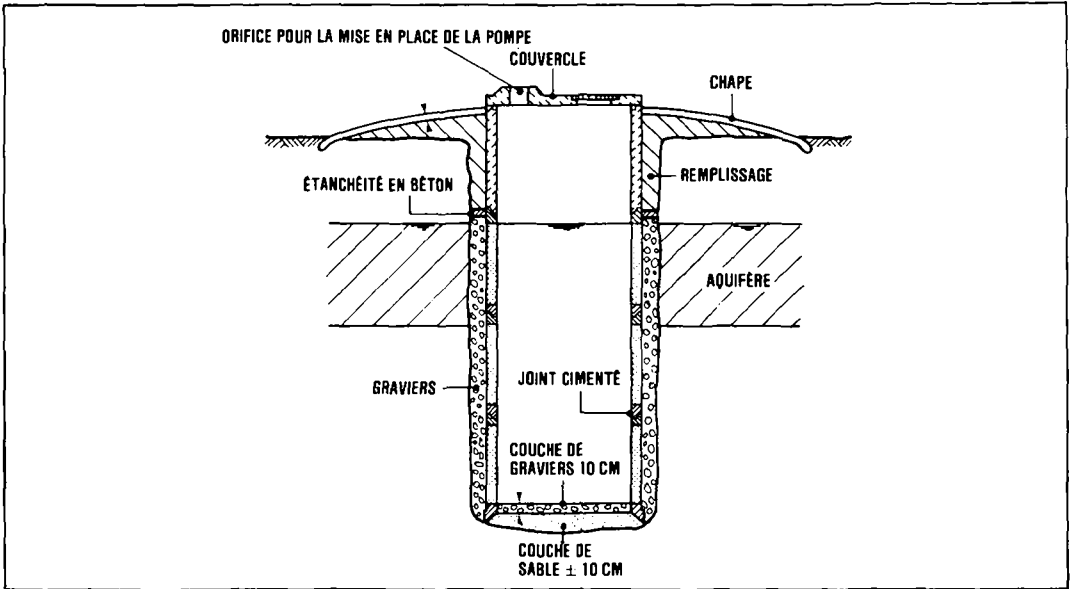


Figure 7.23.
Puits étanche assurant la protection sanitaire

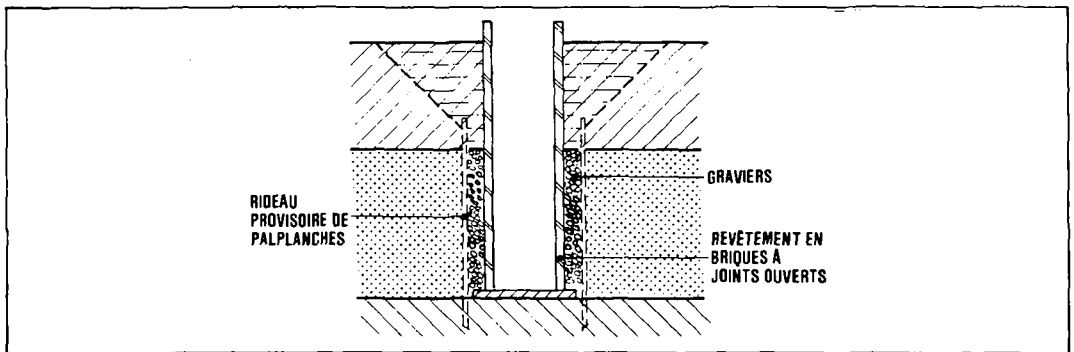


Figure 7.24.
Puits réalisé dans une excavation temporaire

Des formations géologiques dures et consolidées n'exigeant pas la mise en oeuvre immédiate d'installations destinées à assurer la stabilité permettent de réaliser une excavation provisoire sous forme d'un trou ouvert sans soutènement des parois. Cependant, il est prudent de poursuivre le creusement, section après section, comme le montre la figure 7.25.

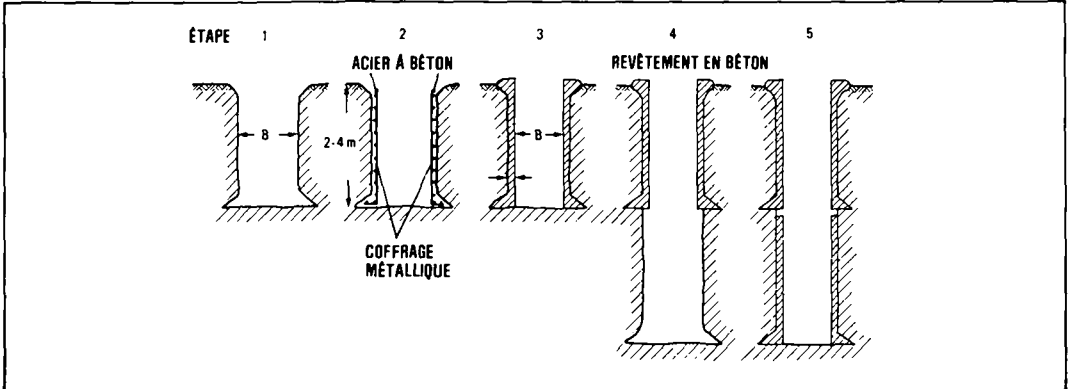


Figure 7.25.
Revêtement en béton armé coulé sur place

Chaque section doit avoir une hauteur de 2 à 4 m, et est maintenue en place par la pression des terrains environnants. La méthode la plus communément utilisée pour l'établissement d'un puits est le creusement à partir de l'intérieur en extrayant la terre du fond. Le revêtement préfabriqué s'enfonce alors sous son propre poids (figure 7.26.). Pour les puits ayant un diamètre ne dépassant pas 3 à 4 m., le déblaiement se fait fréquemment manuellement. En-dessous du niveau de nappe d'eau souterraine, il est nécessaire de procéder à des épaissements, pour pouvoir poursuivre le creusement. Avec cette méthode, on construit surtout des puits circulaires car ils s'établissent rapidement et ne se déforment pas lorsque les divers éléments du revêtement sont soumis à des forces inégales.

On peut, pour le revêtement, recourir à une maçonnerie de pierres, ou de briques ou de parpaings de béton en disposant à la base un fort sabot d'acier (figure 7.27). Celui-ci évite que le revêtement descende de manière inégale, ce qui pourrait provoquer des déformations et des fissures. Le béton armé est alors, évidemment, un matériau mieux adapté. Il permet également de construire le revêtement du puits à l'air libre, au fur et à mesure que le creusement progresse. On peut utiliser des buses de grand diamètre en béton, en fibrociment ou en plastique pour construire le revêtement. Lorsqu'on n'en trouve pas ou si elles sont trop onéreuses et difficiles à manier, on peut utiliser des buses en béton préfabriqué (figure 7.28.). Il n'y a pas de raison de ne pas utiliser largement des buses préfabriquées en béton.

Leur emploi ne nécessite pas de spécialistes en maçonnerie, il faut seulement des

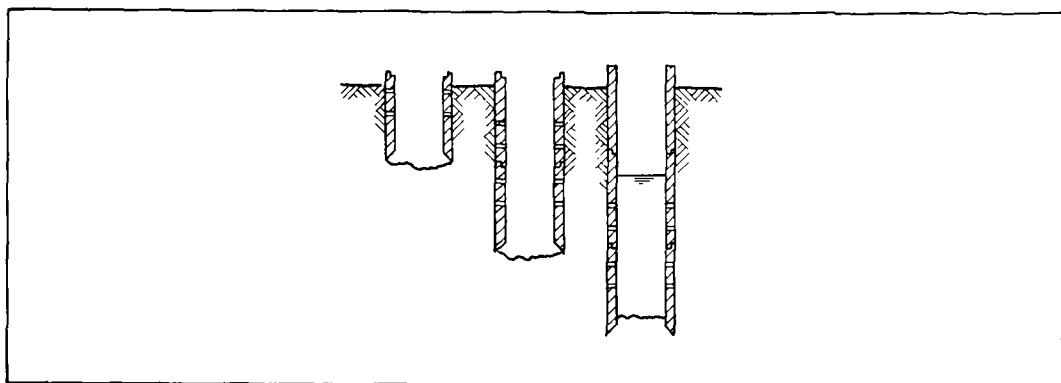


Figure 7.26.
Construction d'un puits par creusement à partir de l'intérieur

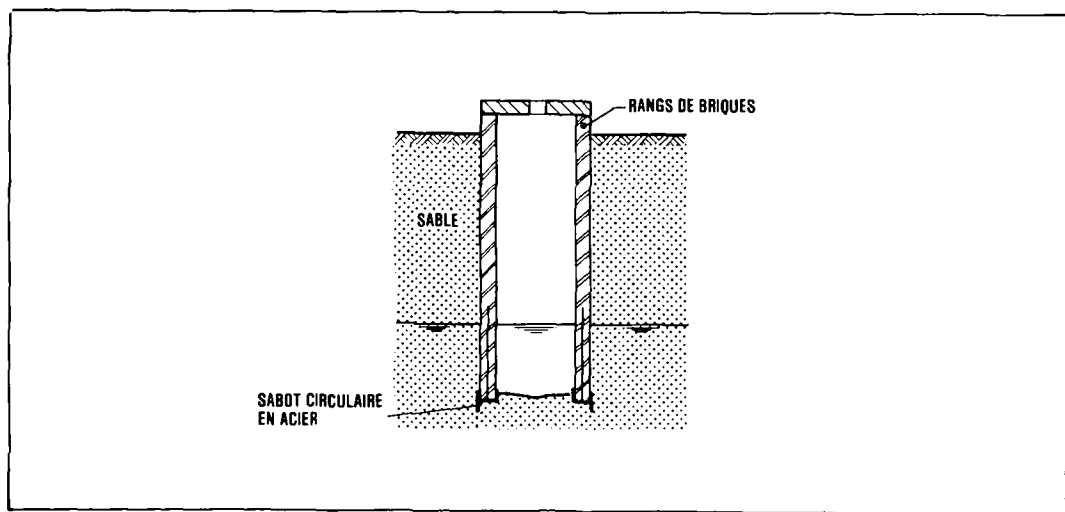


Figure 7.27.
Puits avec un revêtement de briques

pierres, des briques ou du gravier de qualité convenable et il n'est pas difficile de former des travailleurs non-qualifiés à couler du béton. Le sable et le gravier nécessaires peuvent en général être trouvés dans une zone assez proche du puits.

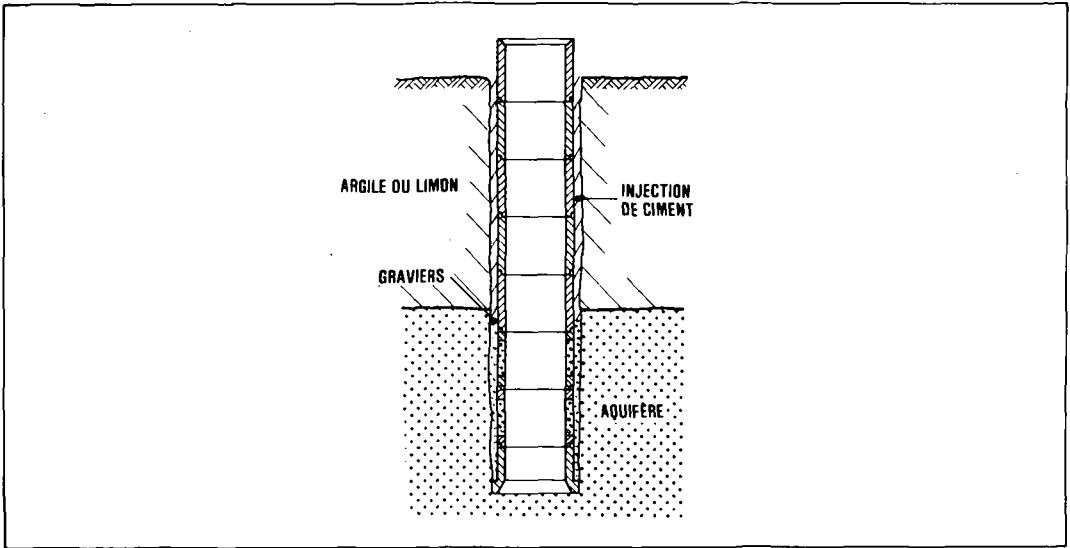


Figure 7.28.
Construction d'un puits avec buses pré-fabriquées

La buse inférieure est munie d'un sabot dont la face intérieure est coupante; le diamètre extérieur de la trousse coupante circulaire est un peu supérieur à celui des buses pour en faciliter la descente et réduire les frottements contre les parois du puits (figure 7.29.). La trousse coupante laisse au cours du creusement un espace autour du revêtement. Dans les formations qui ne sont pas très cohérentes, cet espace se bouchera naturellement, assurant aussi l'étanchéité; dans les formations dures, on le remplira en injectant du ciment ou en damant de l'argile corroyée pour constituer une protection contre des infiltrations d'eau polluée en provenance de la surface. Sur toute la profondeur de la nappe phréatique les buses sont fabriquées en béton grossier (gravier de la taille d'un pois et ciment, sans sable) à travers lequel l'eau souterraine peut entrer dans le puits.

Fréquemment, on réalise une construction plus économique et meilleure sur le plan technique en combinant les deux méthodes décrites ci-dessus. La figure 7.31. présente un dispositif assurant une protection excellente contre toute entrée de l'eau polluée provenant de la surface. Ce mode de construction permet également d'approfondir le puits si, après un certain temps, le niveau de l'eau souterraine s'abaisse. Le dispositif indiqué sur la figure 7.32.

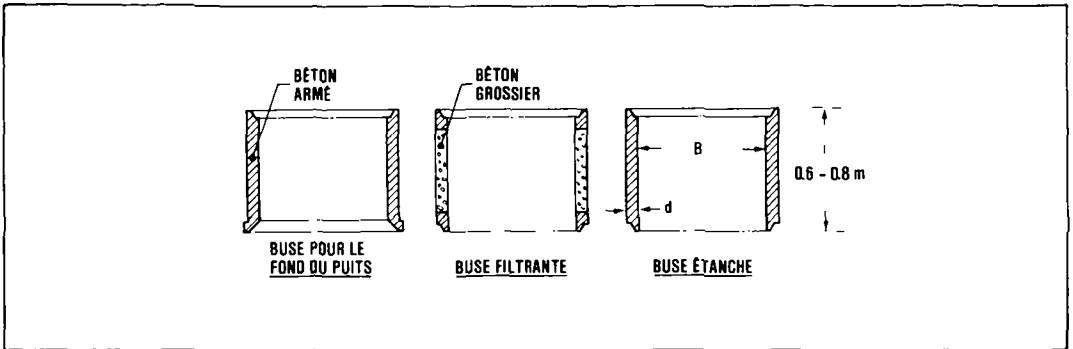


Figure 7.29.
Buses préfabriquées en béton

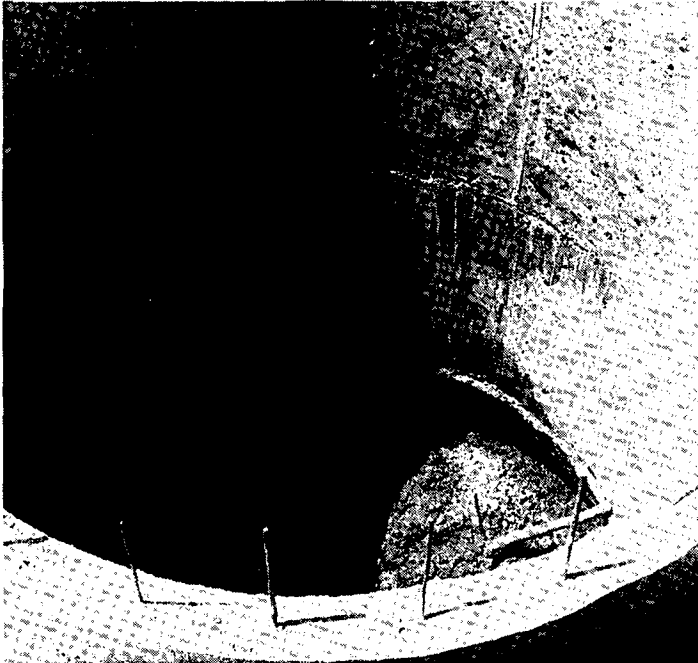


Figure 7.30.
Buse en béton armé, pour le revêtement d'un puits

n'a pas cet avantage, mais sa construction est beaucoup moins coûteuse.

Il est évident, qu'il n'est pas facile de protéger l'eau d'un puits contre les contaminations bactériennes. En bref, les précautions suivantes sont à prendre :

- 1 - La partie supérieure du revêtement doit être étanche à l'eau, de préférence jusqu'à une profondeur de plusieurs mètres en-dessous du niveau le plus bas atteint par la nappe.
- 2 - L'espace compris entre les parois du puits et le revêtement doit être rendu étanche avec de l'argile corroyée ou mieux avec une injection de ciment.
- 3 - La partie supérieure du revêtement doit dépasser le niveau du sol de quelque 0,5 m. et être fermée par un couvercle étanche à l'eau sur lequel on établira une pompe à main pour réaliser l'exhaure de l'eau.
- 4 - Une chape doit être établie autour de la margelle d'une largeur d'environ 2 m. en pente vers l'extérieur, avec un caniveau qui puisse évacuer à l'extérieur de la zone du puits toute eau qui pourrait être renversée.
- 5 - L'eau du puits doit être chlorée pour réaliser sa décontamination bactérienne, après sa construction, puis à des intervalles réguliers.

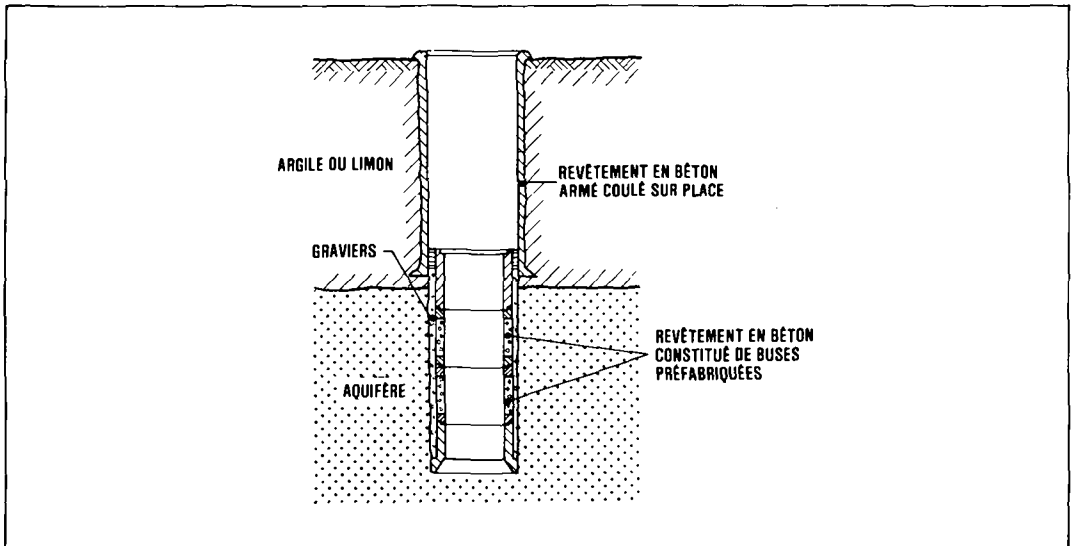


Figure 7.31.
Combinaison de deux méthodes de construction d'un puits

7.6 Forages

Un forage comporte un tubage réalisé avec une conduite ne comportant aucun percement dans la traversée des terrains non aquifères et comportant des parties perforées ou des fentes crépinées pour la partie établie dans l'aquifère.

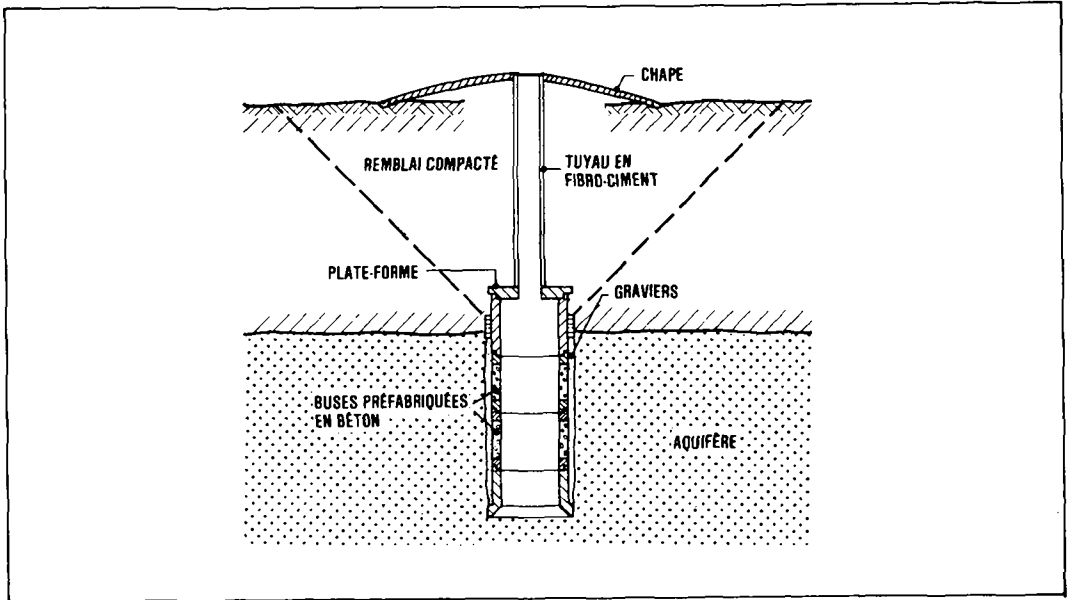
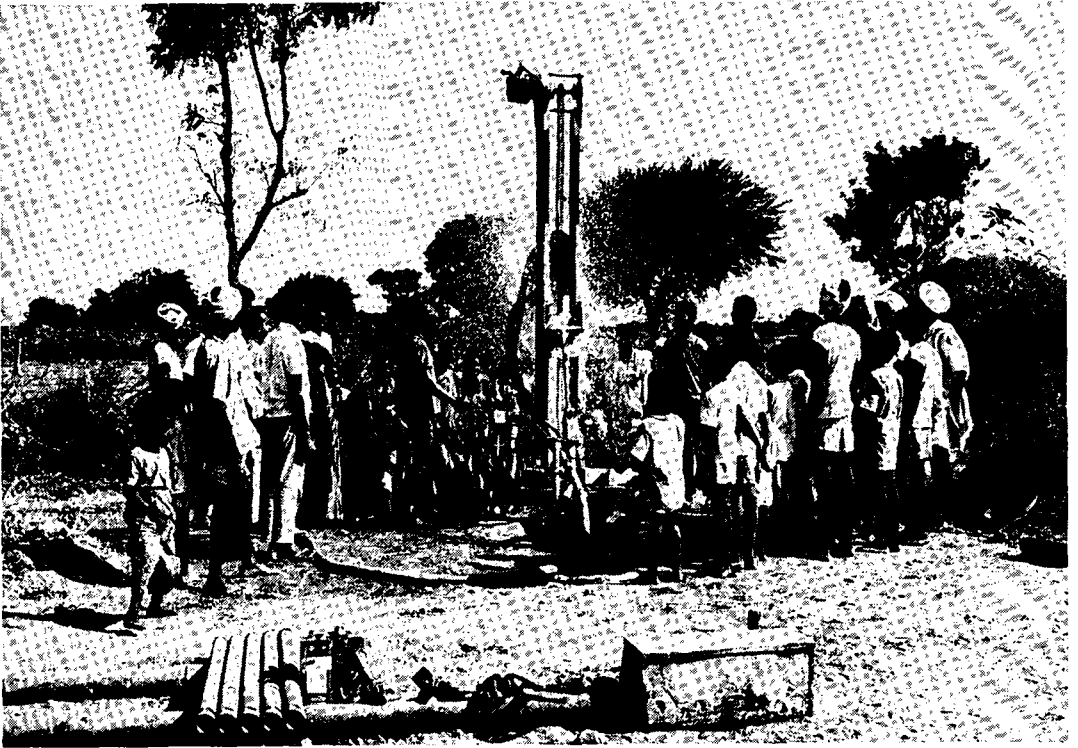


Figure 7.32.
Construction d'un puits utilisant une combinaison de méthodes

Les forages conviennent très bien pour des dispositifs d'alimentation en eau de petite capacité. Les forages de petit diamètre et de faible profondeur peuvent être construits par battage, injection, alésage. Le travail au trépan est le moyen le mieux adapté à la réalisation de forages de grand diamètre conçus pour l'exhaure de quantités considérables d'eau à de grandes profondeurs, ou pour exploiter des aquifères établis dans des roches dures ou dans des formations géologiques analogues. Le creusement au trépan est une technique universelle qui peut être utilisée pour toute profondeur raisonnable et dans la plupart des formations géologiques. Cependant, il exige un équipement compliqué, un savoir faire et une expérience considérables. Il est, presque toujours, effectué par des foreurs spécialistes. On trouvera dans l'annexe No. 2 un exposé détaillé des méthodes de forage au trépan.

Les forages peuvent atteindre plus de 200 m. de profondeur, même à travers une roche dure. Cependant, on ne peut jamais garantir que l'on trouvera de l'eau. Il est donc important, lorsqu'on choisit le point d'établissement d'un forage, d'utiliser pleinement tous les résultats que l'on peut avoir à partir de prospections ou de travaux exploratoires précédemment réalisés.

Le concours d'un personnel expérimenté et qualifié est essentiel, tout autant que les informations recueillies au cours de précédents travaux hydrogéologiques.



UNICEF Photo by Bash

Figure 7.33.
Réalisation d'un forage

Les puits instantanés (figure 7.34.) sont réalisés en enfonçant une crépine conique formant poinçon dans la formation aquifère. Afin d'éviter d'endommager cette crépine lorsqu'elle traverse des sols caillouteux ou des terrains compacts, le poinçon situé à la base est en acier résistant avec habituellement un plus grand diamètre que la crépine même. La plupart de ces crépines ont un diamètre compris entre 30 et 50 mm. Alors que l'enfoncement se poursuit, des sections successives de tuyau sont vissées à la partie supérieure; ainsi le haut du tubage est toujours au-dessus de la surface du sol. La crépine est enfoncée en utilisant un mécanisme simple pour frapper le sommet du tuyau. De nombreux dispositifs peuvent être imaginés. La figure 7.35. fournit une vue de l'une de ces installations.

Quelle que soit la méthode utilisée, il est essentiel que les coups soient frappés nettement et verticalement; autrement le tube pourrait se courber et peut-être se briser. Comme c'est le tuyau qui transmet les coups à la crépine, celui-ci doit être résistant, avec des parois épaisses particulièrement lorsqu'on peut penser que l'enfoncement dans des terrains durs sera difficile.

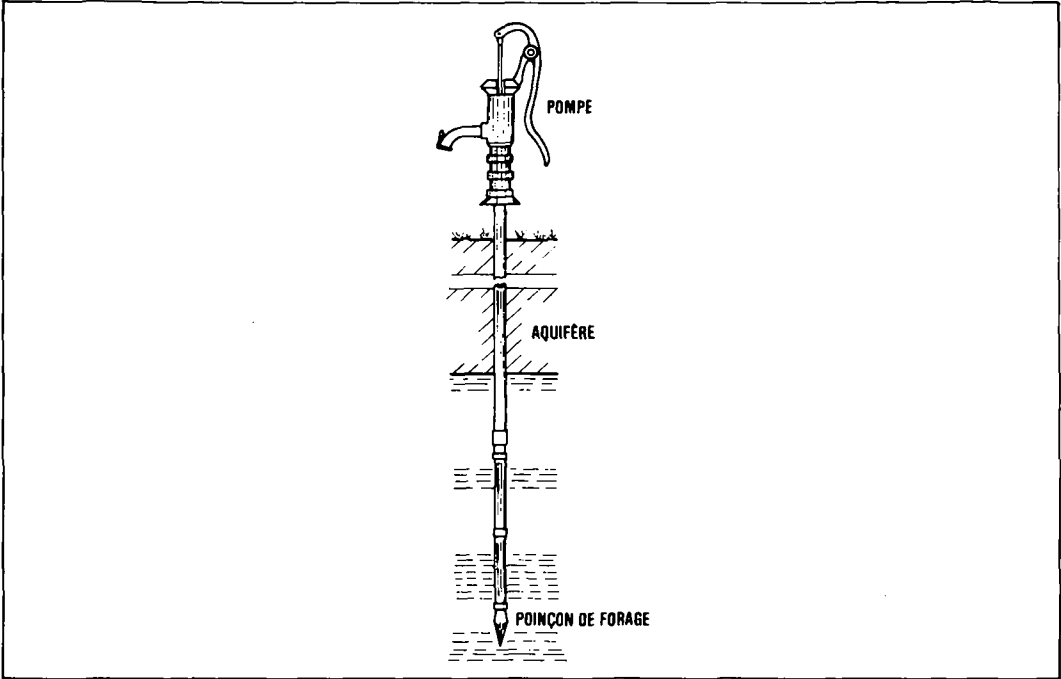


Figure 7.34.
Puits instantané

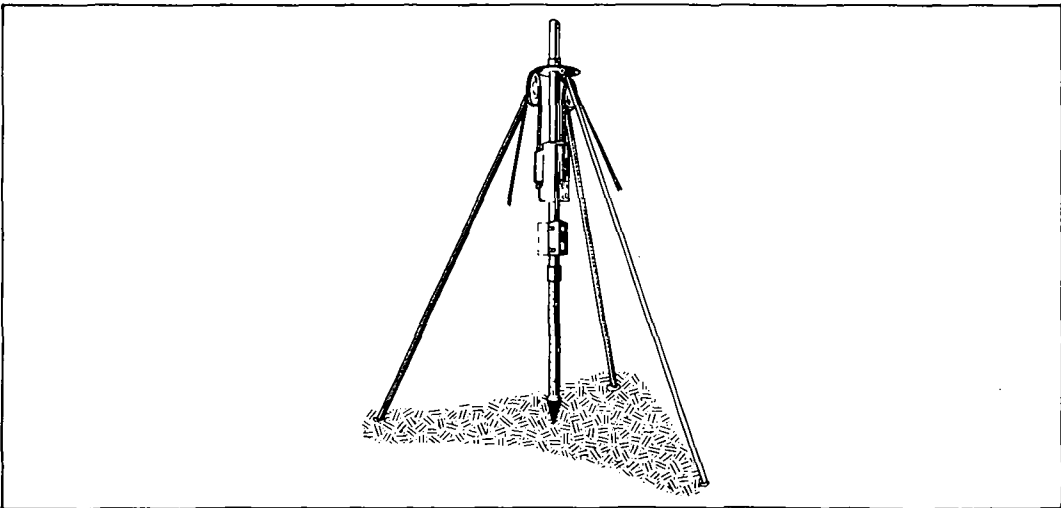


Figure 7.35.
Dispositif pour la réalisation d'un puits instantané

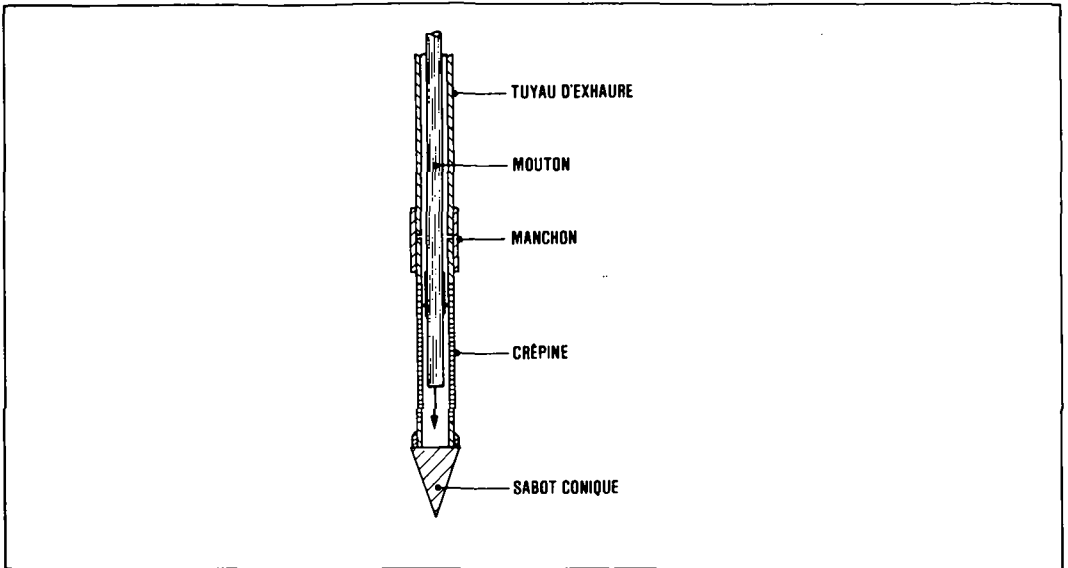


Figure 7.36.
Forage instantané. Vue de l'intérieur du tube de forage

Dans le procédé de forage figuré sur la figure 7.36., le mouton tombe librement à l'intérieur de la crépine. Le tuyau d'exhaure est tiré dans le sol plutôt que poussé. On peut alors utiliser des tubes d'une résistance courante. Les puits instantanés conviennent bien aux formations sableuses tendres que la crépine pénètre facilement. Les puits instantanés ne peuvent être aménagés dans les zones où le sol contient des galets ou autres obstacles. Dans toutes les formations souterraines, la résistance à l'enfoncement augmente avec la profondeur. Le recours aux puits instantanés est dans ces conditions limité aux puits peu profonds (moins de 10 à 15 m.). Pour la même raison, le diamètre est en général réduit, de 3 cm à 10 cm environ au maximum, le plus fréquent étant un diamètre de 5 à 8 cm. On ne peut établir des pompes à l'intérieur de tubes de diamètres aussi réduits. Les puits instantanés présentent aussi un inconvénient : les ouvertures de la crépine peuvent, au cours de l'enfoncement, se boucher du fait de l'argile ou de matériaux similaires. Il est alors presque impossible d'y porter remède, une fois le puits foré.

Le colmatage de la crépine peut être évité en utilisant un joint glissant (figure 7.37.). Au cours de l'enfoncement, la crépine se trouve à l'intérieur du tubage et ce n'est qu'après avoir atteint la profondeur désirée qu'on la pousse pour entrer dans la formation aquifère. Lorsqu'il y a des formations résistantes directement en-dessous de la surface du sol, une meilleure solution est de commencer avec une tarière ordinaire pour creuser un

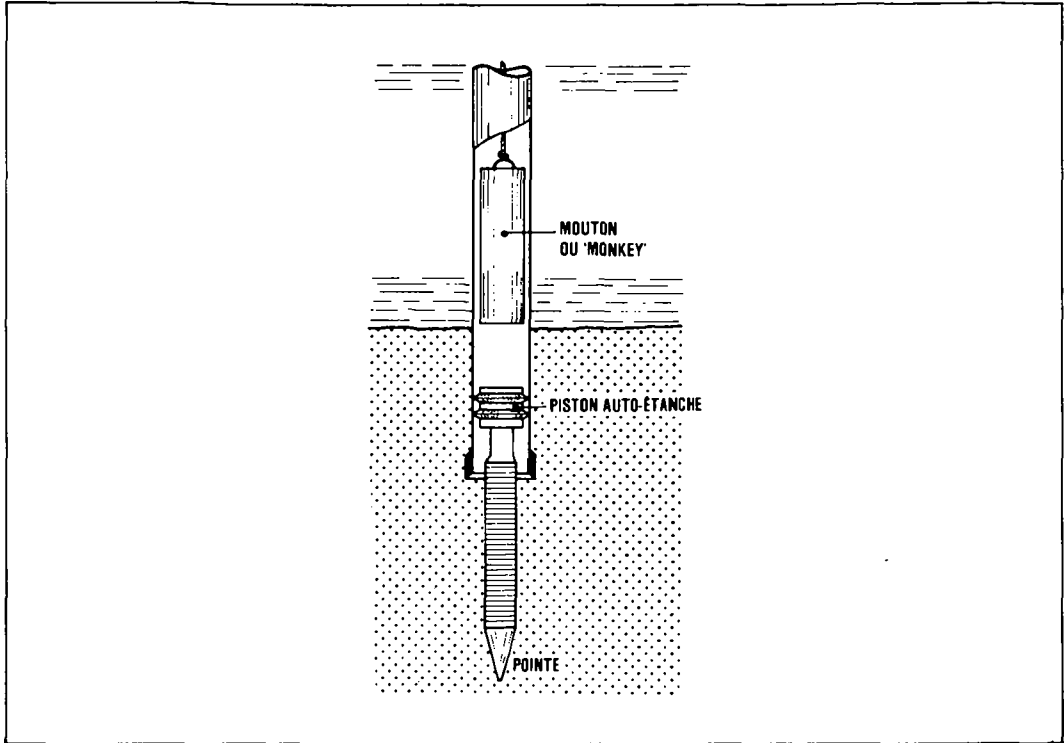


Figure 7.37.
Creusement d'un puits instantané avec joint glissant

trou aussi profond que possible avec un diamètre légèrement plus grand que celui de la pointe de creusement du puits instantané (figure 7.38.). Ayant obtenu un trou droit, vertical et assez profond, on peut alors en terminer avec l'exécution d'un ouvrage bien vertical qui, autrement, aurait été difficile à obtenir.

Si, après avoir aménagé un puits instantané, on en désinfecte soigneusement l'intérieur, l'eau qu'on puisera sera bactériologiquement pure et a toutes chances de le rester. Cependant, la production d'un puits instantané est faible, quelque 0,1 à 1 litre/sec. Cela ne sera suffisant que pour une maison individuelle ou une petite collectivité. Pour une collectivité plus importante, un certain nombre de puits instantanés peuvent être reliés avec une conduite d'aspiration centrale et une seule unité de pompage mais cette solution est plutôt onéreuse. Dans les zones rurales des pays en développement, les puits instantanés ont l'avantage de pouvoir être facilement et rapidement installés sans qu'il soit besoin d'aucune compétence ou équipement particuliers.

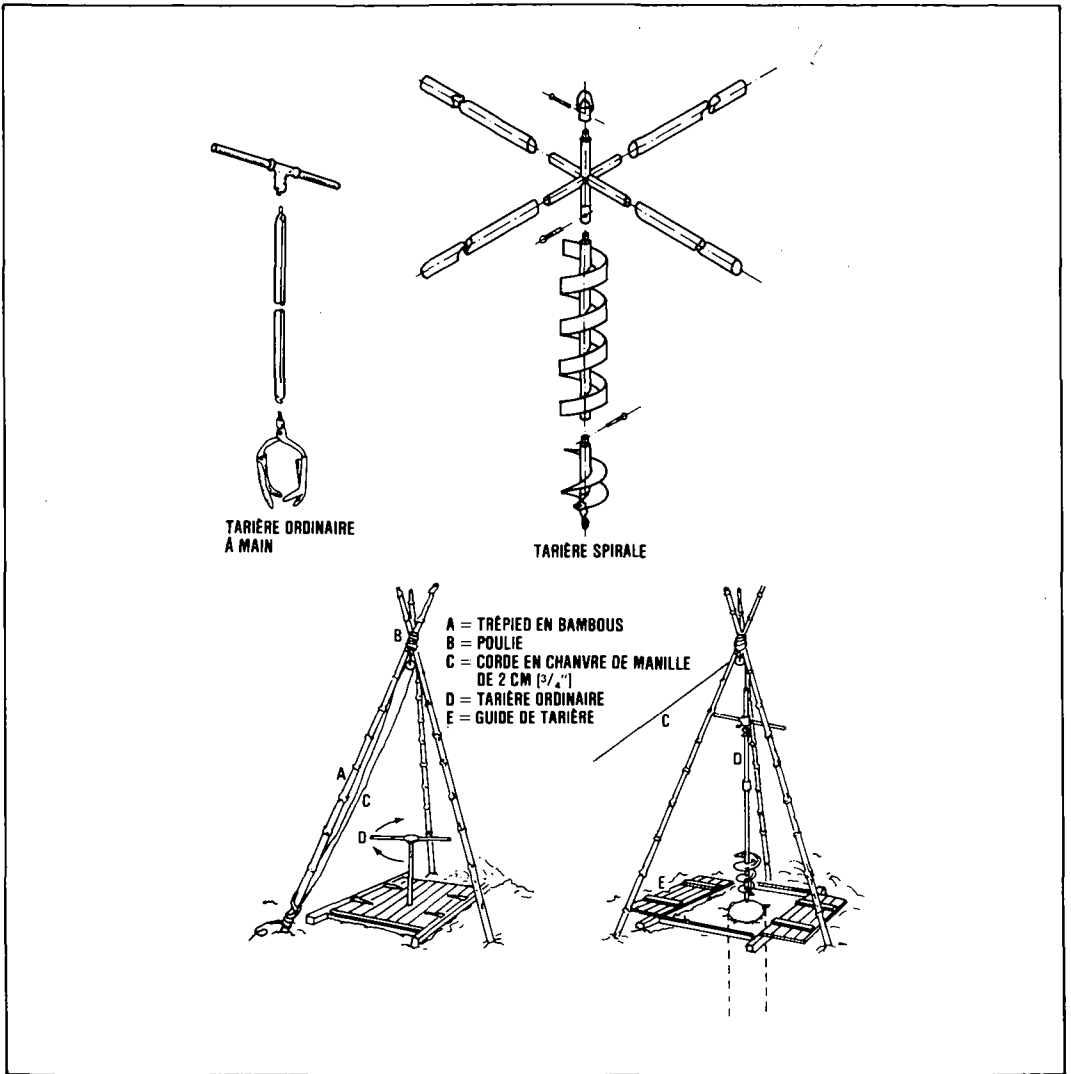


Figure 7.38.
 Equipement pour le creusement d'un forage

Forage par injection : Ils ne diffèrent pas en apparence des puits instantanés, mais la pointe située à la base de la crépine est creuse, au lieu d'être pleine, et le forage est réalisé par l'action érosive d'un courant d'eau giclant à partir de la pointe (figure 7.39.).

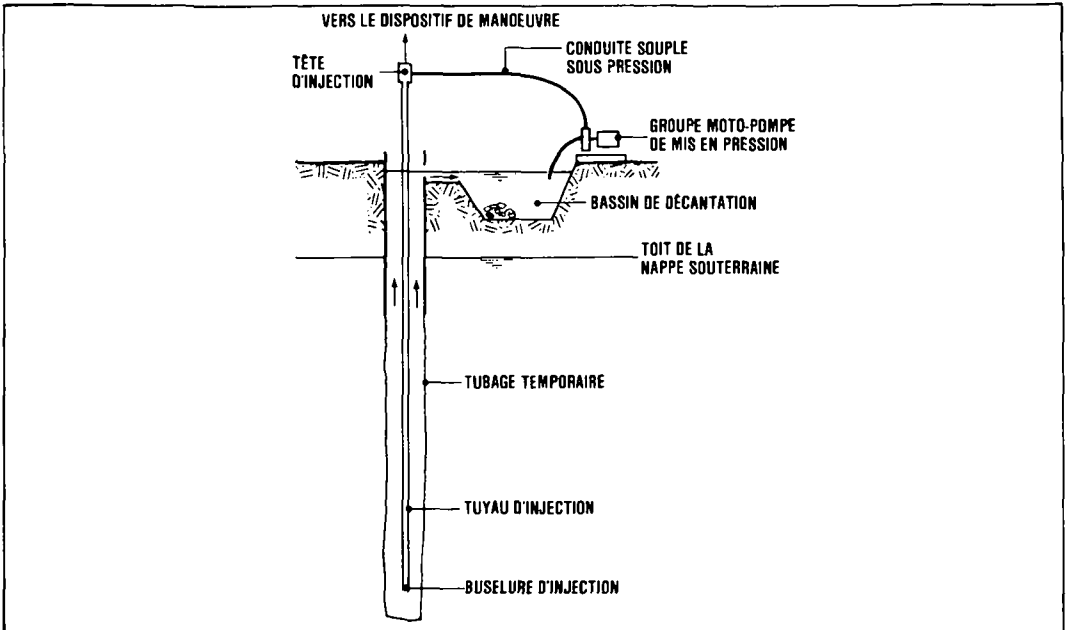


Figure 7.39.
Forage par injection

Comparés aux puits instantanés, les puits par injection sont beaucoup plus faciles à réaliser. Il n'est pas nécessaire de mettre en oeuvre une importante force mécanique, de sorte qu'on peut utiliser pour le tubage et pour la crépine des matériaux plastiques au lieu d'acier. Les forages par injection ne peuvent évidemment être réalisés que dans des formations non consolidées. Ils conviennent très bien pour des aquifères sableux; l'argile et les calcaires offrent souvent trop de résistance à l'action du jet d'eau. Comme pour les puits instantanés, les horizons de galets ne peuvent être traversés mais il est facile de tourner par avance la difficulté en affouillant sous le tube d'injection figuré sur la figure 7.40. jusqu'à la profondeur désirée. On peut également employer une telle technique d'injection en utilisant une conduite d'injection séparée pour entraîner dans le sol par affouillement un tubage muni d'une crépine en plastique. La profondeur que l'on peut obtenir est quelque peu supérieure à celle que l'on atteint, pour les mêmes diamètres d'environ 5 à 8 cm, avec des puits instantanés. Il ne se pose aucun problème de colmatage de la crépine.

Les puits peuvent également être creusés par alésage, technique qui est surtout adaptée aux sols meubles tels que le sable et les calcaires tendres. Ainsi, la méthode est spécialement utilisée dans les zones deltaïques où ces types de sol sont très fréquents. Pour les petites profondeurs, les tarières spirales sont employées comme le montre la figure 7.38. Pour une plus grande profondeur, des tarières du type à auget peuvent être employées, mises en rota-

tion grâce à un arbre de transmission actionné à partir de la surface. Cet arbre est constitué par des tringles métalliques de 3 à 6 m. de long reliées par des accouplements à assemblage rapide. La partie supérieure comporte une tige à section carrée qui peut être entraînée par une table tournante. La tarière est établie au fond du trou; elle comporte une face coupante qui découpe les parois du trou et décharge la terre dans la chambre cylindrique supérieure. Lorsque celle-ci est pleine, la tarière est tirée au-dessus du sol et le fond de la chambre est ouvert. Chaque fois qu'il est nécessaire, l'arbre de transmission est déconnecté pour l'introduction d'une rallonge. C'est un travail ennuyeux et long.

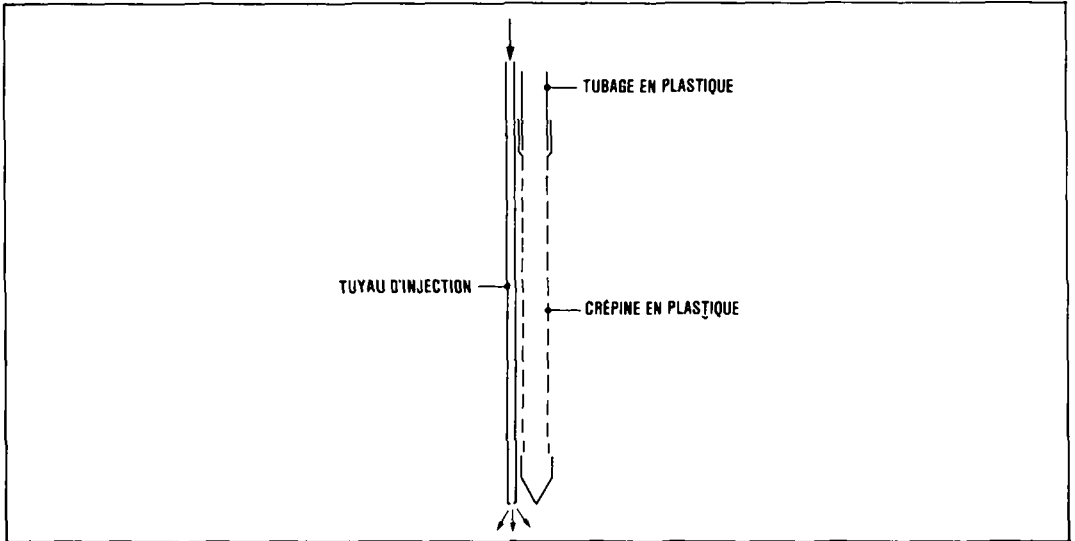


Figure 7.40.
Creusement d'un forage mettant en oeuvre un tube d'injection extérieur

Il est évident que cette technique est surtout adaptée aux formations souterraines tendres non consolidées. Dans un sol compact comme de l'argile, il n'est en général pas nécessaire de prévoir un tubage temporaire pour la partie du forage située au-dessus de la nappe phréatique mais il faudra en établir un dans un sol meuble. Dans la nappe d'eau, la tarière peut effectivement creuser les terrains, mais elle ne peut assurer la remontée à la surface des éléments découpés. Ceux-ci s'échapperaient en effet du container destiné à les recevoir lorsque la tarière serait remontée du fond du trou jusqu'à la surface. Une "cuillère" descendue dans le trou et remontée par un cable permettra de collecter les déblais. La cuillère descend jusqu'au voisinage du fond et les déblais se trouvent emprisonnés par le jeu d'un clapet qui se trouve à la base de la cuillère. L'ensemble de ces opérations accroît de façon importante le temps nécessaire à l'exécution du forage.

Méthode dite du forage la boue

C'est une technique indigène, à faible coût, mettant essentiellement en oeuvre du travail, qui permet la réalisation de forages dans des formations alluviales non consolidées telles qu'on en trouve dans des zones deltaïques. On peut avec cette méthode et dans des conditions convenables creuser des forages jusqu'à une profondeur de 50 m. Au Bangladesh, la méthode a été et continue à être utilisée, pour creuser un grand nombre de forages qui permettent d'exploiter les ressources abondantes d'eau souterraines peu profondes existant dans la zone deltaïque.

Pour commencer le forage, un trou d'environ 0,6 m. de diamètre et 0,5 m. de profondeur est creusé et rempli d'eau. Un échafaudage en bambous est établi au-dessus du trou. Un tronçon de conduite en acier est placé verticalement dans le sol, et le forage est effectué en actionnant la conduite de haut en bas de façon saccadée par l'intermédiaire d'une tige de bambou fixée au tuyau et s'appuyant sur l'échafaudage. A la base du tuyau, le sol détrempé par l'eau entre dans ce tuyau, lui permettant de pénétrer dans le sol. Ainsi, des éléments de sol et de l'eau sortent poussés vers le haut à la partie supérieure du tuyau.

Durant le creusement du forage, un homme assis en haut de l'échafaudage veille à ce que le tuyau pénètre de façon parfaitement verticale. A chaque coup ascendant, il ferme avec sa main la partie supérieure du tuyau vertical, provoquant une aspiration qui renforce la désagrégation du sol à la base du tuyau et accroît la remontée dans le tuyau des éléments de sol en cours de forage. Des longueurs de tuyau sont ajoutées au fur et à mesure que l'ensemble des éléments de tuyau assurant la réalisation du forage pénètrent de plus en plus profondément dans le sol.

Le processus de creusement du forage se poursuivant, des échantillons de sol sont collectés à partir de la boue sortant par le sommet du tuyau de forage. Ils sont prélevés et examinés pour tout nouvel enfoncement de 1,50 m. L'opération de forage est arrêtée quand les tuyaux ont suffisamment pénétré à l'intérieur d'une bonne formation aquifère. Toute la longueur de tuyau est alors extraite pièce par pièce en faisant attention de conserver intact le trou de forage. Immédiatement après l'extraction des tubes de forage, le tubage du forage formé de tuyaux plastiques faisant suite à des longueurs de tubes crépinés est assemblé et enfoncé dans le trou jusqu'à la profondeur précédemment obtenue.

A titre indicatif on a relevé les renseignements ci-après concernant un forage réalisé par ce procédé à Konaburi, district de Dacca (Bangladesh) d'une profondeur d'environ 28,5 m. :

- Temps nécessaire pour exécuter le forage	11 heures
- Temps nécessaire pour construire la plate-forme	4 heures
- Personnel utilisé pour le forage	
Main d'oeuvre spécialisée	2 hommes
Main d'oeuvre non-spécialisée	3 hommes

- Personnel utilisé pour la construction de la plate-forme	
Main d'oeuvre spécialisée	1 homme
Main d'oeuvre non-spécialisée	1 homme

Exhaure de l'eau de souterraine

Allsebrook, J.C.P.

WHERE SHALL WE DIG THE WELL

In : Appropriate Technology, Vol. 4 (1978) No. 4

A.W.W.A.

GROUNDWATER

AWWA Manual M21, 130 p.

American Water Works Assoc., New York, 1973

Beyer, M.G.

DRINKING WATER FOR EVERY VILLAGE

In : Assignment Children, UNICEF, 1976, No. 34

Bowen, R.

GROUND WATER

Applied Science Publishers Ltd., 1980, 227 p.

Brown, R.H. (Ed.)

GROUND WATER STUDIES

UNESCO, Paris, 1973-1977

Brush, R.E.

WELLS CONSTRUCTION

Peace Corps, Washington D.C., 1980

BURGEAP

LA CONSTRUCTION DES PUIITS EN AFRIQUE TROPICALE

Ministère de la Coopération, Paris, 1974

(Séries Techniques Rurales en Afrique)

Castany, G.

TRAITE PRATIQUE DES EAUX SOUTERRAINES

Dunod, Paris, 1967, Second edition

Castany, G.

PROSPECTION ET EXPLOITATION DES EAUX SOUTERRAINES

Dunod, Paris, 1968, 717 p.

Campbell, M.D.; Lehr, J.H.

WATER WELL TECHNOLOGY

McGraw Hill Book Co., New York, 681 p.

Cruse, K.

A REVIEW OF WATER WELL DRILLING METHODS

In : Journal of Engineering Geology, 1979, (Vol. 12), pp. 79-95

Davis, S.N.; De Wiest, R.J.N.

HYDROGEOLOGY

John Wiley & Sons, New York, 1966

Eberle, M.; Persons, J.L.; Lehr, J.H. et al.

APPROPRIATE WELL DRILLING TECHNOLOGIES

National Water Well Assoc., Worthington, Ohio, USA, 95 p.

Freeze, R.A.; Cherry, J.A.

GROUNDWATER

Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.Y., USA, 1979

- Gibson, U.P.; Singer, R.D.
SMALL WELLS MANUAL
Agency for International Development, Washington, 1969, 156 p.
- GROUNDWATER AND WELLS
Johnson Division, UOP, St. Paul, Minnesota,
(3rd printing), 1975, 440 p.
- HOLMES, A.
PRINCIPLES OF PHYSICAL GEOLOGY
Thomas Nelson & Sons Ltd., London, 1966
- Huisman, L.
GROUNDWATER RECOVERY
McMillan, London, 1972, 336 p.
- Hwindl, L.A. (Ed.)
HIDDEN WATER IN ARID LANDS
Report of a Workshop on Groundwater Research Needs
Paris, 25 November 1975
Association of Geoscientists for International
Development (AGID), 1976
- Jain, J.K.
HANDBOOK ON BORING AND DEEPENING OF WELLS
Government of India, Ministry of Food and Agriculture,
New Delhi, 1962
- MANUAL OF WATER WELL CONSTRUCTION PRACTICES
U.S. Environmental Protection Agency, Washington D.C.
(EPA-570/9-75-001)
- McJunkin, F.E.
JETTING SMALL TUBEWELLS BY HAND
Washington D.C., July 1960, p. 3
(Peace Corps Technical Notes No. 1)
- Moehr, K.E.
WELL GROUTING AND WELL PROTECTION
In : Journal of the American Water Works Association, No. 4
1964 (56), pp. 423-431
- Romero, J.A.C.
MANUAL DE POZOS RASOS
Organizacion Panamericana de la Salud, Washington D.C., 1977
- SHALLOW WELLS
DHV Consulting Engineers, Amersfoort, Netherlands, 1978, p. 189
- Slow, D.A.V.; Skidmore, J.; Beyer, A.R.
PRELIMINARY BIBLIOGRAPHY ON GROUNDWATER IN DEVELOPING COUNTRIES
Association of Geoscientists for International Development
(AGID), November, 1976
- Todd, D.K.
GROUNDWATER HYDROLOGY
John Wiley & Sons, New York, 1959
- Watt, S.B.; Wood, W.E.
HAND DUG WELLS AND THEIR CONSTRUCTION
Intermediate Technology Publications Ltd, London, 1976, 234 p.

8. prises d'eau de surface

8.1 Prise d'eau de rivière

Les rivières et les eaux superficielles des pays tropicaux ont souvent des débits soumis à de grandes fluctuations saisonnières. La qualité de l'eau s'en trouve affectée. Dans les périodes humides, l'eau peut contenir moins de substances dissoutes, mais apparaît souvent très trouble. Dans les périodes sèches, les débits des rivières sont faibles et la charge en solides dissous est alors moins diluée.

Les sources de montagne possèdent parfois une forte charge en limons, mais leur teneur en matières minérales est en général très faible et elles sont fréquemment indemnes de pollution humaine. Dans les plaines et les estuaires, les rivières s'écoulent lentement sauf dans les périodes d'inondation. L'eau peut être relativement claire, mais elle est presque toujours polluée, et un traitement sera nécessaire pour qu'elle puisse être utilisée pour la boisson et les usages domestiques.

La qualité d'une eau de rivière sera en général la même qu'elle soit prélevée en surface ou en profondeur. La prise peut donc être effectuée en tout point où il apparaît qu'on puisse disposer d'une quantité suffisante d'eau. La prise d'eau de rivière sera conçue de manière à éviter à la fois des engorgements et des affouillements. La stabilité de la prise d'eau doit être assurée en toutes circonstances, même en cas d'inondation.

Dans les endroits où la rivière ne charrie ni galets ni pierres qui pourraient endommager la prise, une prise d'eau non-protégée peut être suffisante (figure 8.1.).

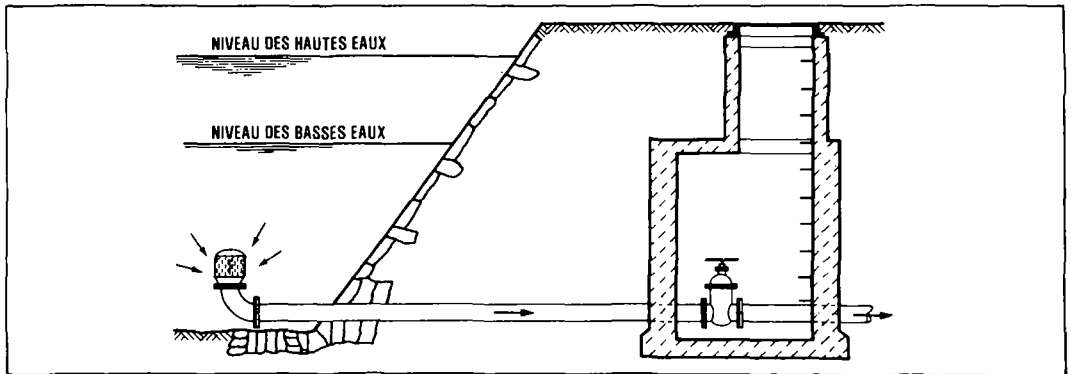


Figure 8.1.
Prise d'eau de rivière non protégée

Dans les cas où il est nécessaire de protéger la prise d'eau, on pourra utiliser un dispositif tel que celui qui est présenté sur la figure 8.2.

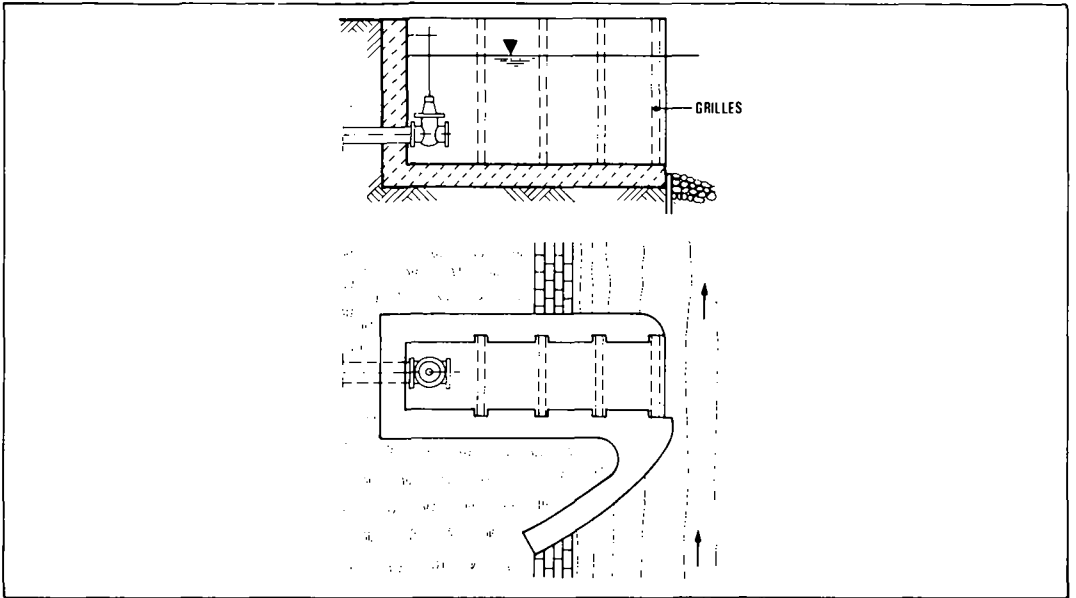


Figure 8.2.
Prise d'eau en rivière

Le fond de l'ouvrage de prise d'eau doit être établi à au moins 1 m. au-dessus du lit de la rivière pour empêcher l'entrée de tout bloc ou pierre. Une chicane peut être nécessaire pour éloigner les débris et les matières flottantes telles que des troncs d'arbres et des branches. Afin de diminuer l'appel des limons et des matières en suspension, la vitesse d'écoulement à travers la prise doit être faible, de préférence inférieure à 0,1 m/seconde.

Une prise d'eau de rivière exige toujours une profondeur d'eau suffisante. Il pourra être nécessaire de construire un déversoir immergé à travers la rivière en aval de la prise d'eau pour assurer une profondeur d'eau suffisante même dans les périodes sèches.

Un pompage est fréquemment nécessaire pour réaliser une prise d'eau en rivière. Si la variation entre les niveaux supérieur et inférieur de la rivière ne dépasse pas 3,5 à 4 m., on pourra utiliser une pompe aspirante placée sur la berge de la rivière (figure 8.3.).

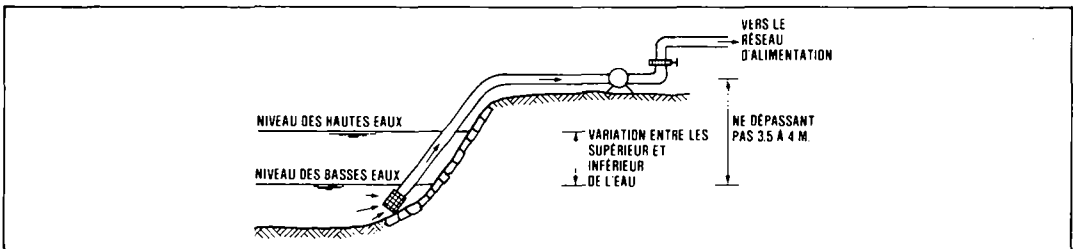


Figure 8.3.
Prise d'eau de rivière par pompage

Un aménagement différent de prise d'eau est nécessaire si la hauteur de pompage doit excéder 3,5 à 4 m. Une bonne solution consiste à construire un puits dans la berge. L'eau est collectée dans les drains d'infiltration installés sous le lit de la rivière. Elle s'écoule par gravité en-dessous du lit vers le puits. Le niveau le plus bas dans le puits sera probablement trop profond pour installer sur le sol une pompe aspirante. L'exhaure sera alors en général réalisée à l'aide d'une pompe immergée ou d'une pompe établie dans le puits et actionnée par un arbre vertical à partir de la surface.

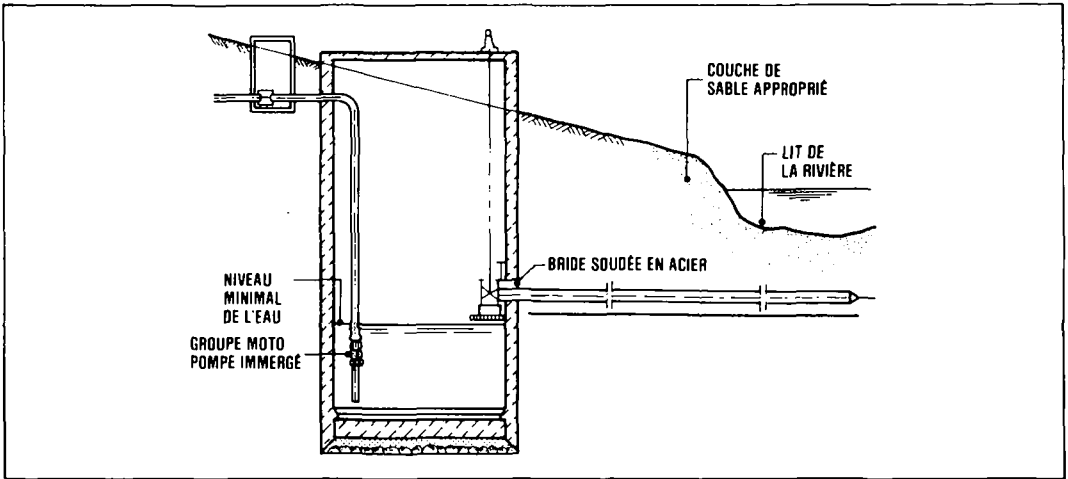


Figure 8.4.
Prise d'eau de rivière utilisant des drains d'infiltration, réalisée à partir de la berge

8.2 Prise d'eau dans un lac

La qualité de l'eau d'un lac est influencée par l'auto-épuration qui se produit du fait de l'aération, des processus bio-chimiques et de la décantation des solides en suspension. L'eau peut être très claire et exempte de matières organiques avec une forte saturation en oxygène. En général, au bord d'un lac, le seul risque à redouter pour la santé est la pollution d'origine humaine ou animale. A quelque distance du bord, l'eau du lac est en général exempte de bactéries pathogènes et de virus. Cependant, il peut y avoir des algues, en particulier dans les couches supérieures.

Dans les lacs profonds, les vagues et la turbulence provoquée par le vent à la surface n'affecteront pas les couches profondes. Il n'y aura pas de mélange des eaux; une stratification thermique se développera, les couches d'eau les plus chaudes reposant au-dessus des couches les plus froides qui ont une plus grande densité. Comme conséquence de la stratification thermique, les couches d'eau profondes peuvent avoir une qualité différente de celle de la

couche supérieure. La stratification thermique peut être régulièrement stable et ce spécialement dans les conditions tropicales. La figure 8.5. fournit un exemple.

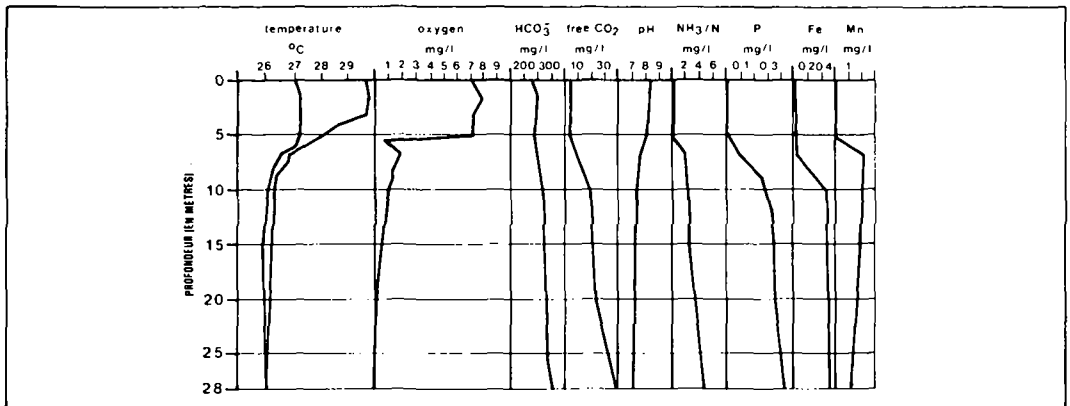


Figure 8.5.
Variation de la qualité de l'eau en fonction de la profondeur dans un lac profond (Indonésie)

La stratification thermique doit être prise en compte lorsqu'on décide de l'emplacement et de la profondeur d'une prise d'eau lacustre pour l'alimentation. La présence d'algues dans les couches supérieures est un autre facteur important.

Dans les lacs profonds où l'eau a une faible teneur en matières nutritives (nitrates, phosphates,...), la qualité chimique de l'eau sera sensiblement la même à toute profondeur. Pour l'alimentation en eau, l'eau provenant des couches profondes aura l'avantage d'avoir pratiquement une température constante. Il est conseillé de prendre l'eau toujours à la même profondeur au-dessous de la surface (figure 8.6.).

Les lacs profonds dont l'eau a une forte teneur en matières nutritives présentent des différences dans la qualité de l'eau prise aux différents niveaux. L'eau doit alors être obtenue à partir des couches supérieures du lac qui contiennent une forte quantité d'oxygène. Cependant, comme la couche supérieure est chaude, la prise d'eau pour l'alimentation doit se pratiquer de préférence à 3-5 m. en-dessous de la surface.

Dans les lacs peu profonds, la prise doit être située suffisamment haut au-dessus du fond pour éviter l'entrée de limons (figure 8.7.).

8.3 Prise d'eau types

Pour l'alimentation en eau de petites collectivités, la quantité d'eau nécessaire étant faible, on utilisera une prise d'eau très simple. Avec une consommation par habitant de 30 litres par jour et une exhaure de pointe équivalant à 4 fois la demande moyenne, la

capacité d'une prise d'eau pour 1.000 personnes devra être de 1,4 litres/sec. Un tuyau de prise d'eau de 150 mm serait suffisant pour conserver la vitesse d'entrée du débit en-dessous de 0,1 m/sec. S'il est possible d'admettre une vitesse d'entrée de 0,5 m/sec., un tuyau de 60 mm conviendra.

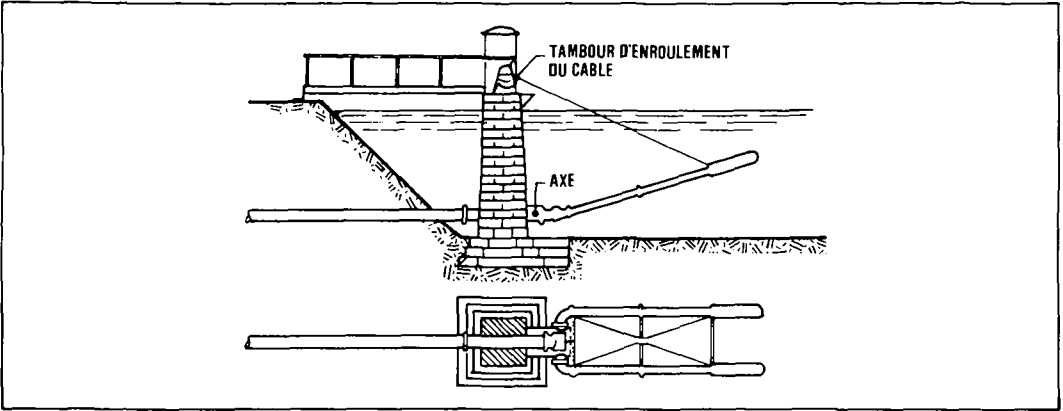


Figure 8.6.
Prise d'eau dans un lac subissant des variations de niveau

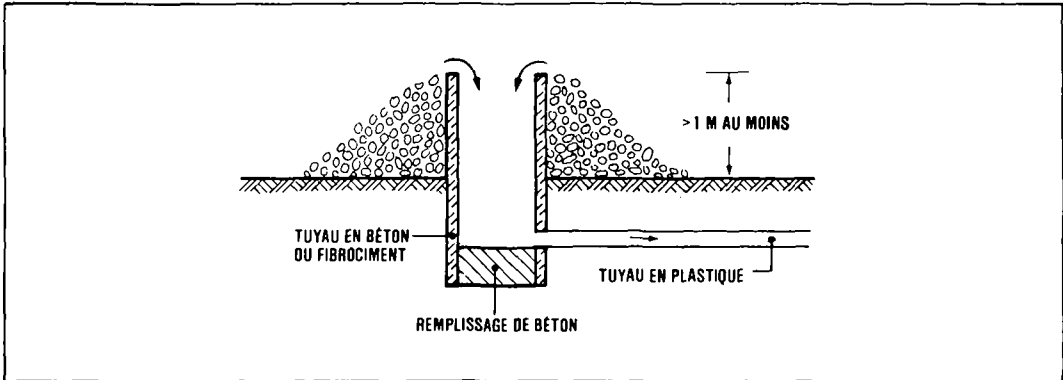


Figure 8.7.
Prise d'eau au fond d'un lac peu profond

Pour des prises d'eau de petite capacité, on pourra utiliser des aménagements simples comportant des conduites flexibles en plastique (figure 8.8.).

On trouvera sur la figure 8.9. un dispositif utilisant un corps flottant pour supporter le tuyau de prise d'eau. L'eau est pompée à partir d'un puits établi dans la berge.

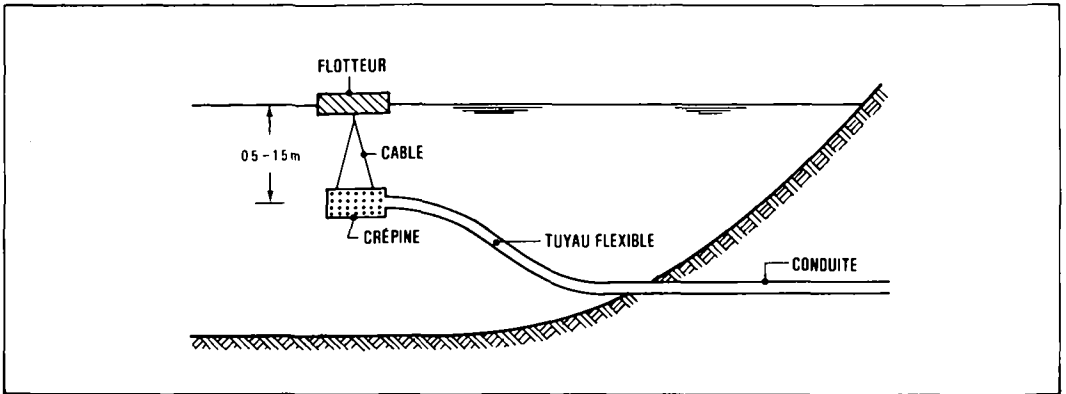


Figure 8.8.
Dispositif simple de prise d'eau

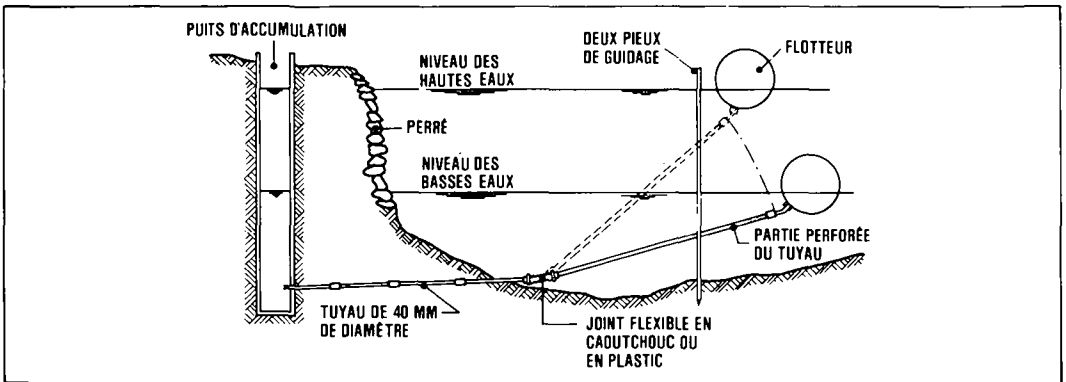


Figure 8.9.
Prise d'eau flottante

8.4 Petits barrages et étangs de villages

Dans de nombreuses petites collectivités, la seule ressource pour l'alimentation en eau est un petit barrage réservoir ou un "étang". On les appelle "hafir", (Soudan), "tapkis" (Nigeria), "represa" (Amérique du Sud), "tank" (Indes), "pond" (Afrique de l'Est) ou autres termes locaux. Ils seront, dans cet ouvrage, tous englobés sous le nom de petits barrages ou étangs villageois.

Ils peuvent être très peu étendus ou mesurer, pour les plus grands, quelques hectares. Ils peuvent être entièrement naturels dans des zones dépressionnaires plates ou construits spécialement. Dans ce dernier cas, l'ouvrage peut avoir été établi précisément pour

retenir l'eau ou résulter d'une extraction d'argile pour les besoins de la construction. De nombreux ouvrages combinent, en fonction des circonstances, des dépressions naturelles et le travail de l'homme qui les a approfondies ou élargies au cours des ans afin d'en accroître la capacité.

Certains d'entre eux se trouvent dans des villages ou dans de petites villes. Plus souvent, ils sont installés juste à la limite du village. Aux Indes, ils renferment des poisons qui constituent une nourriture pour les villageois.

Malheureusement, ces plans d'eau sont souvent utilisés pour la lessive et la baignade. Ils sont le plus souvent pollués et contiennent de nombreux germes susceptibles d'engendrer des épidémies. Ils transportent des bactéries pathogènes, des virus et des parasites qui provoquent un nombre incalculable de maladies et de morts, particulièrement chez les enfants.

L'eau peut contenir des masses de limons ou de matières colloïdales, spécialement immédiatement après les pluies. Certains étangs villageois, existant depuis des siècles, peuvent être remplis de plantes aquatiques. D'autres sont le réceptacle d'immondices de toute nature. D'autres sont relativement bien tenus, d'aspect agréable et se présentent bien dans le paysage.

En pratique, il est impossible d'empêcher la pollution de ces petits plans d'eau situés aux points les plus bas de la zone environnante; ils drainent tout ce qui provient du village.

Dans un étang qui vient d'être creusé, la construction d'une prise d'eau ne présente pas de difficulté si on l'entreprend avant le remplissage du bassin. Dans un étang en place, le travail doit être effectué alors que l'ouvrage est en eau. On devra probablement opérer manuellement sans disposer d'aucun outillage spécial. Dans les étangs où l'eau est très trouble, il est conseillé de capter l'eau juste au-dessous de la surface. Une prise d'eau flottante pourra convenir. Un tuyau en plastique pourra être utilisé à la place du fer galvanisé pour assurer la collecte de l'eau; du bambou peut également convenir. Le support flottant peut être en bambou ou autres matériaux disponibles localement.

S'il y a dans l'étang des algues et d'autres plantes aquatiques, ainsi que des poisons, il faudra établir une crépine autour de la prise d'eau. Le niveau de l'orifice de prise d'eau doit être en-dessous du point de prélèvement le plus bas, à moins que l'on ait recours à un siphon. On peut creuser un puits très près de la berge et la conduite de prise d'eau peut être soit forcée jusqu'à lui en utilisant un vérin, soit établie jusqu'au plan d'eau en partant du puits. La conduite est alors recouverte, pendant que le puits est chemisé, par un revêtement en maçonnerie ou en béton. On dispose alors d'une prise flottante. Le puits devrait être approfondi pour permettre la décantation des matières en suspension.

8.5 Dégrillage

Le dégrillage est réalisé en faisant passer l'eau à travers des barreaux espacés, ou

des plaques perforées ou grillagées. Le dégrillage ne modifie pas la qualité chimique ou bactériologique de l'eau. Il permet de retenir les éléments grossiers et les matières en suspension trop importantes pour passer par les ouvertures de la grille. Même si les matériaux restant à l'extérieur de la grille arrivent à former un tapis filtrant, le dégrillage n'est rien plus qu'un processus mécanique.

Dans les techniques de l'alimentation en eau, les grilles sont utilisées pour :

- 1) Eliminer les éléments flottants et les matières en suspension qui pourraient engorger les canalisations, endommager les pompes et autres équipements mécaniques, ou nuire au bon fonctionnement des autres processus de traitement. On utilise alors des grilles fixes qui sont nettoyées manuellement ou mécaniquement;
- 2) Clarifier l'eau en éliminant les matières en suspension, même de petite taille, pour alléger la charge des processus ultérieurs de traitement. En particulier, on utilise les grilles pour empêcher le colmatage trop rapide des filtres.

Les grilles à barreaux sont formées en général de lames métalliques ou de barreaux espacés de 0,5 à 5 cm. Si la masse des matériaux à éliminer est assez réduite, les barreaux sont assez fortement inclinés (angle de 60 à 75° avec l'horizontale); le nettoyage est réalisé manuellement avec des rateaux. Avec de plus grandes quantités de matériaux, le nettoyage manuel est encore possible. Afin de le rendre plus facile, les barreaux doivent être établis avec une pente de 30 à 45° sur l'horizontale (figure 8.10.).

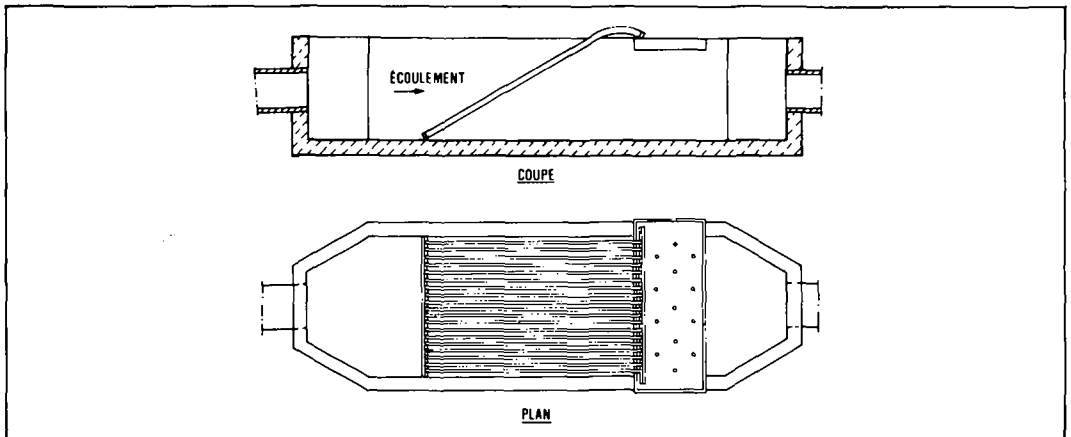


Figure 8.10.
Grille à barreaux fixes

L'eau doit s'écouler à travers la grille à une vitesse assez lente, 0,1 à 0,2 m/sec. Une fois la grille passée, la vitesse doit être d'au moins de 0,3 à 0,5 m/sec., afin d'éviter la décantation des matières en suspension. La vitesse d'écoulement entre les barreaux doit

être limitée à 0,7 m/sec.; autrement les matières molles et déformables seraient forcées à travers les ouvertures de la grille. Une grille propre permettra à l'eau de passer avec une perte de charge ne dépassant pas quelques centimètres. Cependant, cette perte de charge s'élève rapidement avec le colmatage de la grille. Un nettoyage régulier maintiendra la perte de charge à 0,1 à 0,2 m. Il est conseillé, compte tenu des négligences qui peuvent se produire dans le nettoyage de la grille et des incidents mécaniques qui peuvent survenir, de concevoir le dispositif de dégrillage pour une perte de charge pouvant atteindre 0,50 à 1 m.

Prises d'eau de surface

DESIGN OF SMALL DAMS
U.S. Bureau of Reclamation, Washington D.C. 1973

Instituto de Ingenieria Sanitaria
ABASTECIMIENTOS DE AGUA POTABLE A COMUNIDADES RURALES
Facultad de Ingenieria, Universidad de Buenos Aires, 1971

Institute of Water Engineers
MANUAL OF BRITISH WATER ENGINEERING PRACTICE (4th Edition)
W. Heffer & Sons Ltd., Cambridge, 1969

Wood, J.L.; Richardson, J.
DESIGN OF SMALL WATER STORAGE AND EROSION CONTROL DAMS
Colorado State University, Fort Collins, Colorado, 1975 74 p.

9. recharge artificielle

9.1 Introduction

L'eau souterraine a en général le grand avantage sur les eaux de surface (rivières et lacs), d'être exempte d'organismes pathogènes et de bactéries susceptibles de provoquer des maladies hydriques. Cependant, on ne dispose pas toujours d'eau souterraine et les débits que l'on peut escompter sont habituellement limités. Comme il a été indiqué ci-dessus, l'exhaure d'eau souterraine ne doit pas à long terme excéder les apports résultant de la recharge naturelle. Aussi, lorsque cette recharge est faible, les quantités d'eau que l'on peut obtenir de la nappe aquifère sont également faibles. Lorsque les conditions sont favorables, il est possible de réaliser une recharge naturelle de la nappe aquifère et d'augmenter ainsi le débit maximal qu'on en peut raisonnablement attendre. C'est la recharge artificielle. Elle implique des mesures visant à alimenter l'aquifère à partir de l'eau des rivières et des lacs, soit directement, soit par épandage de l'eau en surface dans une zone d'infiltration assurant la percolation jusqu'à la nappe aquifère. La recharge artificielle peut constituer un moyen important d'amélioration de l'alimentation en eau des collectivités dans de nombreuses régions du monde.

A part le fait d'augmenter la capacité de débit de la nappe aquifère, la recharge artificielle permet de purifier l'eau infiltrée. Lorsque l'eau d'une rivière ou d'un lac s'écoule à travers un sol à structure granuleuse, (figure 9.1.), il se produit une filtration qui élimine une grande partie des impuretés en suspension ou sous forme colloïdale, des bactéries et des autres organismes. La nappe aquifère agit comme un filtre lent sur sable.

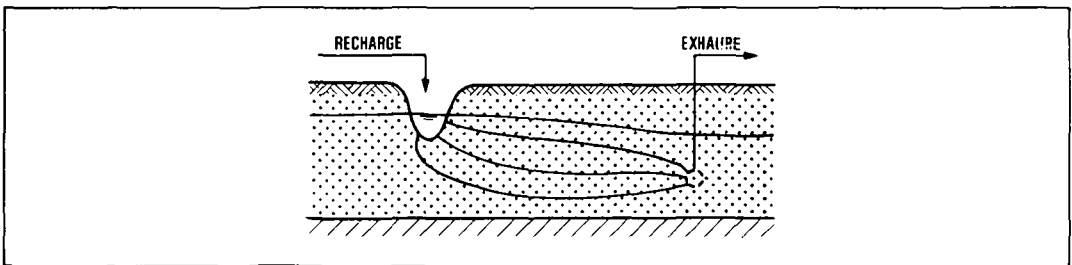


Figure 9.1.
Recharge artificielle d'un aquifère

Pourvu que l'exhaure intervienne à une certaine distance du point de recharge, de préférence à plus de 50 m., l'eau mettra un temps considérable à s'écouler dans le sol, normalement deux mois ou davantage. Du fait des processus bio-chimiques, de l'adsorption et de la filtration, l'eau deviendra suffisamment claire et pure pour l'usage domestique. Dans beaucoup de cas, elle pourra alors être utilisée sans aucun traitement.

Les méthodes principales de recharge artificielle des nappes aquifères sont l'infil-

tration à partir des berges et l'épandage de surface sur des terrains perméables.

Si la recharge artificielle est combinée avec un stockage souterrain, l'eau prélevée dans la rivière en saison humide peut être emmagasinée dans la nappe aquifère et récupérée durant la période sèche lorsque l'écoulement de la rivière est faible, voire nul (figure 9.2.). Il sera souvent plus aisé et plus économique de réaliser un tel stockage souterrain plutôt que de construire des réservoirs de surface. C'est particulièrement le cas en terrain plat. De plus on réduit alors les pertes d'eau par évaporation et on évite les croissances algales.

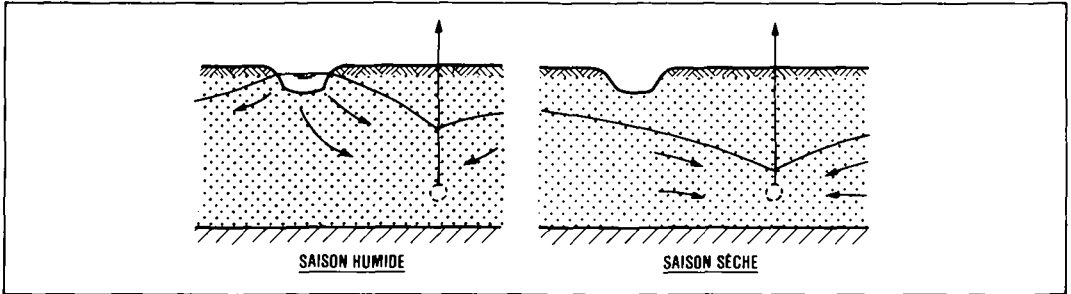


Figure 9.2.
Recharge artificielle avec stockage souterrain de l'eau

9.2 Infiltration par la berge

Pour réaliser une infiltration par la berge (infiltration provoquée), des galeries ou des lignes de puits sont établies parallèlement au bord d'une rivière ou d'un lac, à distance suffisante. (Voir figure 9.3.).

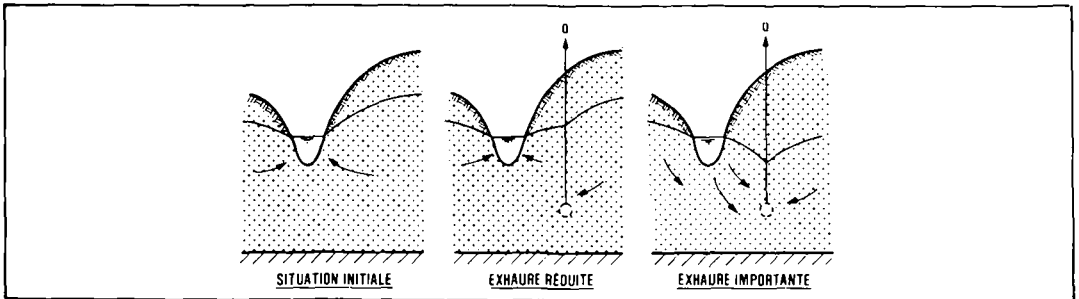


Figure 9.3.
Infiltration par la berge

En situation initiale, le surplus de l'écoulement souterrain alimente la rivière. Lorsque certaines quantités d'eaux souterraines sont extraites, l'écoulement dans la rivière diminue. L'exhaure de l'eau souterraine entraîne un rabattement de la nappe souterraine. Pour d'importants prélèvements, la nappe peut, au voisinage de la berge, descendre en-dessous du

niveau de l'eau dans la rivière. L'eau de la rivière pénétrera alors dans la nappe aquifère. Avec une perméabilité convenable du lit du cours d'eau, des quantités considérables d'eau peuvent être ainsi récupérées sans que le niveau de la nappe souterraine, à une certaine distance de la berge, s'en trouve sensiblement affecté (figure 9.4.). L'eau pompée sera alors, pour la plus grande partie, de l'eau de rivière qui aura rechargé la nappe.

Mis à part les facteurs hydrogéologiques, la conception d'un dispositif de recharge de nappe dépend de deux facteurs : la quantité d'eau souterraine extraite (q) de la galerie ou de la ligne de puits, et la distance (L) (voir figure 9.4.). Afin que le processus de purification de l'eau durant son écoulement de la rivière à la galerie puisse se développer pendant un temps suffisant, la distance L ne devra pas être inférieure à 20 m.; elle sera de préférence de 50 m. ou davantage. L'élément important est le temps mis par l'eau pour traverser le sous-sol. Trois semaines est un minimum et, si cela est possible, 2 mois ou plus sont préférables. Il est évident que le temps de passage ne dépendra pas seulement de la distance L , mais également de l'importance de l'exhaure (q), de l'épaisseur et de la porosité de la nappe aquifère.

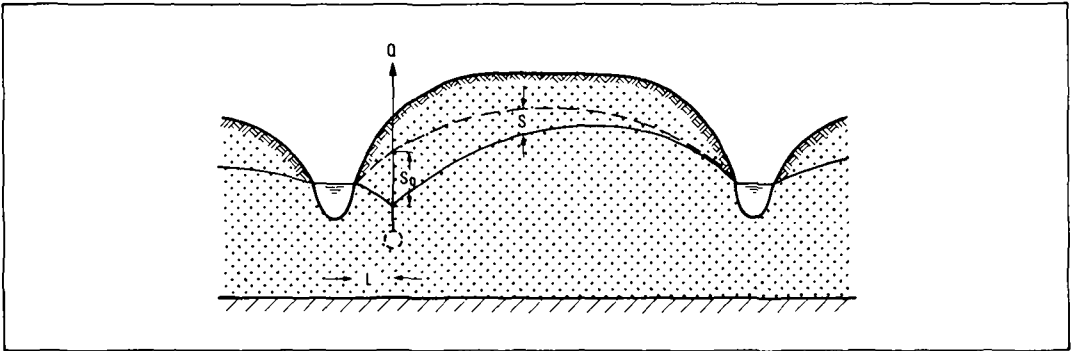


Figure 9.4.
Infiltration provoquée

L'infiltration provoquée est particulièrement utile dans les cas où la recharge naturelle d'une nappe aquifère est faible; c'est le cas d'une nappe aquifère de faible largeur comportant des bandes minces de formations perméables, longeant une rivière (figure 9.5.). Le débit exploitable d'une telle nappe aquifère ne bénéficiant que d'une recharge naturelle sera très limité, mais d'importantes quantités d'eau peuvent être obtenues lorsqu'on pratique une réalimentation de nappe.

Le dispositif à mettre en oeuvre pour la recharge de nappe peut également être installé dans le lit de la rivière elle-même. On voit sur la figure 9.6. une série de forages réalisés par injection reliés à une canalisation centrale d'aspiration. Une autre solution met en oeuvre un drain collecteur horizontal placé sous le lit de la rivière (figure 9.7.).

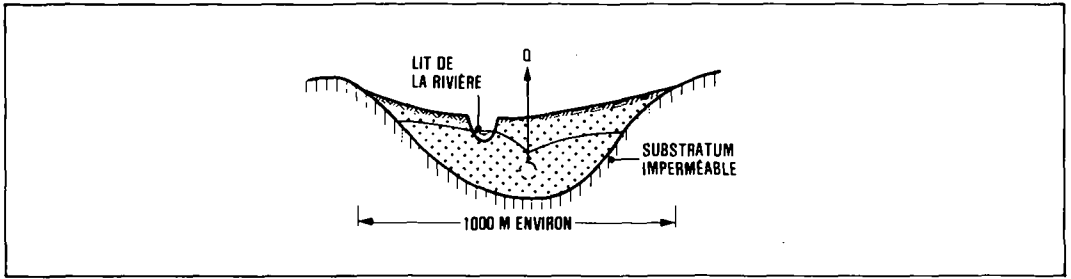


Figure 9.5.
Réalimentation de nappe et exhaure d'eau souterraine à partir d'un aquifère de petite largeur

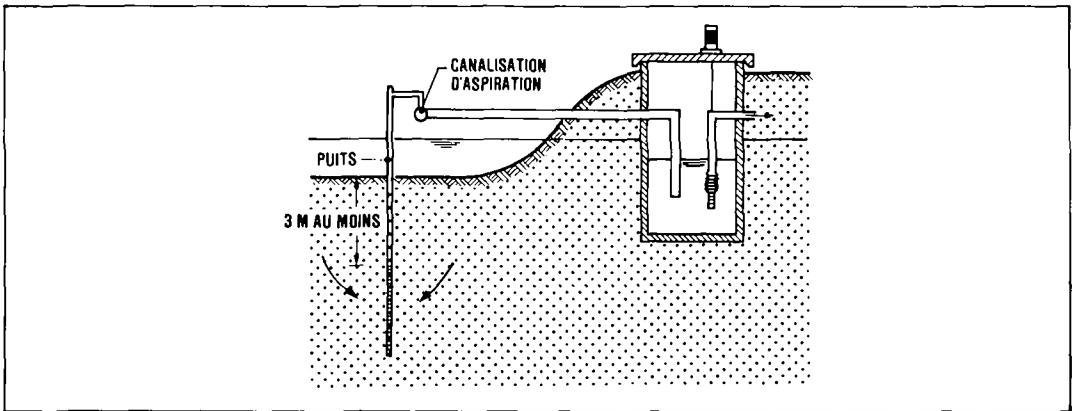


Figure 9.6.
Réalimentation par un groupe de puits placés dans le lit d'une rivière

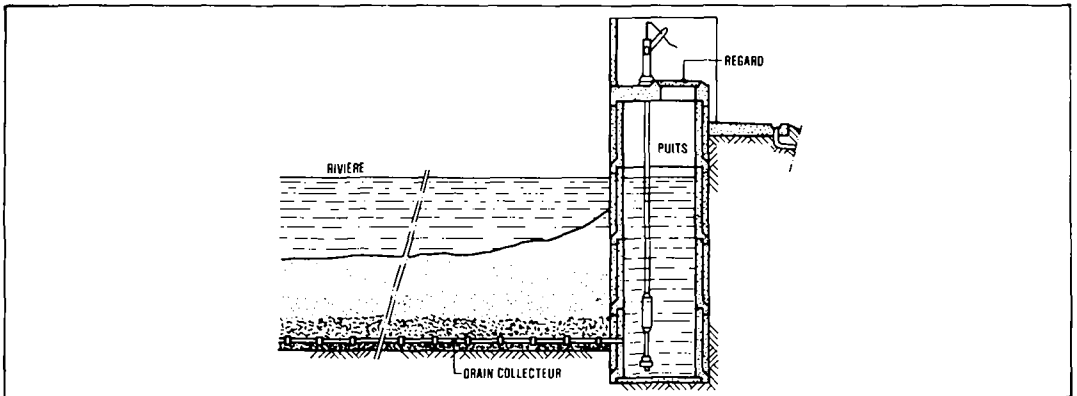


Figure 9.7.
Drain collecteur horizontal sous le lit de la rivière

Avec la recharge de nappe, l'eau de la rivière pénètre dans l'aquifère à travers le lit du cours d'eau. Les dépôts de particules en suspension et la précipitation de solides dissous entraînent un certain colmatage du lit de la rivière. Il en résultera une perte de charge graduelle dans l'infiltration (voir figure 9.8.).

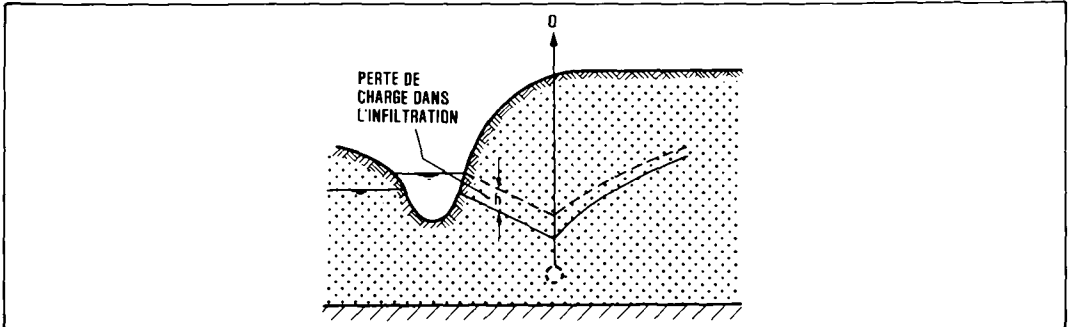


Figure 9.8.
Perte de charge dans l'infiltration imputable au colmatage d'un lit de rivière

Habituellement, le colmatage d'un lit de rivière ne pose pas de problèmes sérieux, étant donné que périodiquement, lors des hautes eaux, il se produira un nettoyage des rives qui emportera les dépôts. Dans les rivières comportant des barrages pour lutter contre les inondations, ce nettoyage des rives peut n'être qu'exceptionnel, en admettant qu'il puisse se produire. Le colmatage de la zone d'infiltration peut alors s'accroître jusqu'à réduire considérablement la recharge de nappe. En théorie, on pourrait procéder à un nettoyage du lit de la rivière, mais cela est difficile et souvent impraticable.

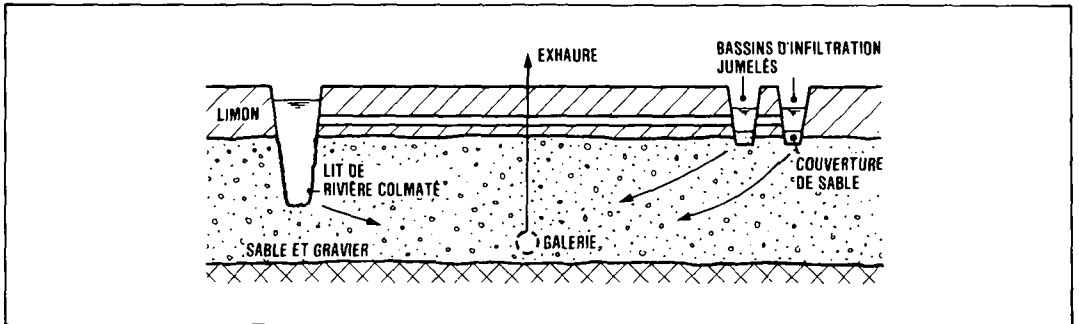


Figure 9.9.
Bassins de recharge d'une nappe aquifère à partir d'eau de rivière

Dans de tels cas, il peut être avantageux de construire deux bassins de réalimentation jumelés qui seront alimentés en eau provenant de la rivière (figure 9.9.). Le fond de ces bassins est constitué d'une couche de sable relativement gros, d'environ 0,5 m. d'épaisseur.

Le colmatage sera alors limité aux premiers centimètres de la couche de sable et pourra être facilement éliminé par un ratissage.

9.3 Epandage de l'eau

La filtration sur berge décrite dans le sous-chapitre précédent ne peut être utilisée que dans le cas où une nappe aquifère convenable est voisine d'une ressource en eau superficielle. Parfois, on dispose effectivement d'une nappe aquifère et d'eau superficielle, mais celles-ci sont à une certaine distance l'une de l'autre. La recharge de nappe peut alors être pratiquée mais l'eau provenant de la rivière, du lac ou d'une autre ressource en eau superficielle doit d'abord être transportée vers les sites où sont disponibles des formations souterraines convenant à l'infiltration et à l'écoulement souterrain. Cela implique certainement des complications pour le dispositif de recharge mais comporte d'importants avantages :

- 1) La prise d'eau peut être arrêtée lorsque l'eau de la rivière est polluée ou se trouve être de mauvaise qualité pour une raison quelconque,
- 2) Des économies peuvent être réalisées lorsque le dispositif de réalimentation est situé près de la zone où doit s'effectuer la distribution de l'eau.

On trouvera sur la figure 9.10, un plan d'ensemble pour une réalimentation de nappe par épandage. Ce plan inclut le pré-traitement de l'eau avant envoi dans un bassin d'infiltration et le traitement ultérieur après exhaure dans la nappe réalimentée.

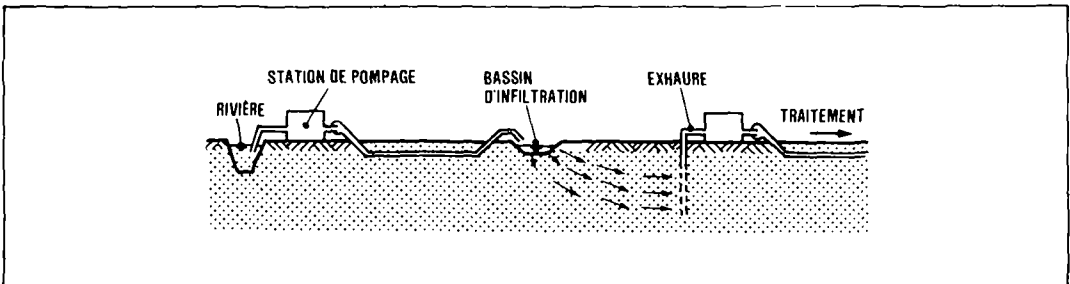


Figure 9.10.
Plan d'une réalimentation artificielle suivie d'une exhaure

Un pré-traitement peut être nécessaire pour éviter des dépôts de boues dans la canalisation, ou pour éliminer les films microbiens qui réduiraient considérablement la capacité de transport de la canalisation. Il pourra également limiter le colmatage du bassin de recharge diminuant ainsi la fréquence des nettoyages. De plus, il protégera la nappe aquifère de la contamination par des substances organiques non dégradables. Le traitement de l'eau d'exhaure sera nécessaire si sa qualité n'est pas encore satisfaisante. Ce peut être le cas, par exemple, de

l'eau qui, lors de son trajet dans le sous-sol, est passée en anaérobiose et a prélevé du fer et du manganèse en provenance des terrains.

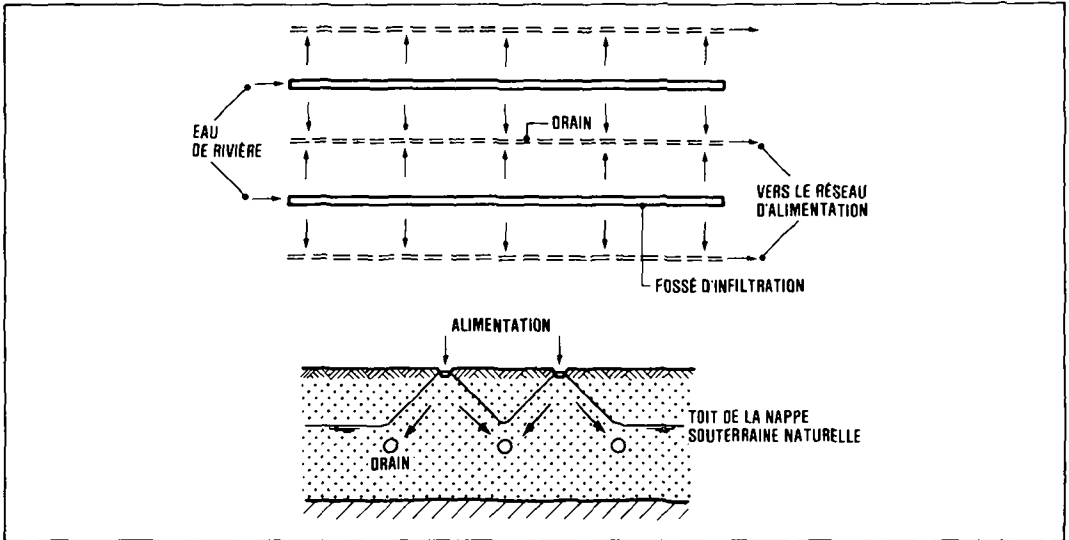


Figure 9.11.

Réalimentation d'une nappe aquifère peu profonde par fossés avec recueil dans des drains de l'eau d'alimentation

La conception d'un plan de réalimentation artificielle dépend de trois facteurs :

- 1) Le débit d'infiltration de l'eau dans les bassins d'épandage. Il doit être suffisamment faible pour que le nettoyage des bassins n'ait à être effectué qu'à des intervalles de temps suffisamment espacés, au moins plusieurs mois et de préférence une année ou davantage;
- 2) Le temps de passage et la distance parcourue par l'eau souterraine;
- 3) La différence de niveau maximale possible entre l'eau dans les bassins d'épandage et le toit de la nappe d'eau souterraine.

La combinaison de ces facteurs amène à conclure que pour la recharge artificielle des nappes peu profondes, particulièrement pour les aquifères à granulation fine, le dispositif d'épandage doit être constitué de fossés, des galeries construites parallèlement à ces fossés assurant la récupération de l'eau infiltrée (figure 9.11.). Pour les aquifères profonds, particulièrement pour ceux dont la granulométrie est grossière, le bassin d'épandage doit, de préférence, être conçu comme un étang, une batterie de puits assurant la reprise de l'eau infiltrée (figure 9.12.).

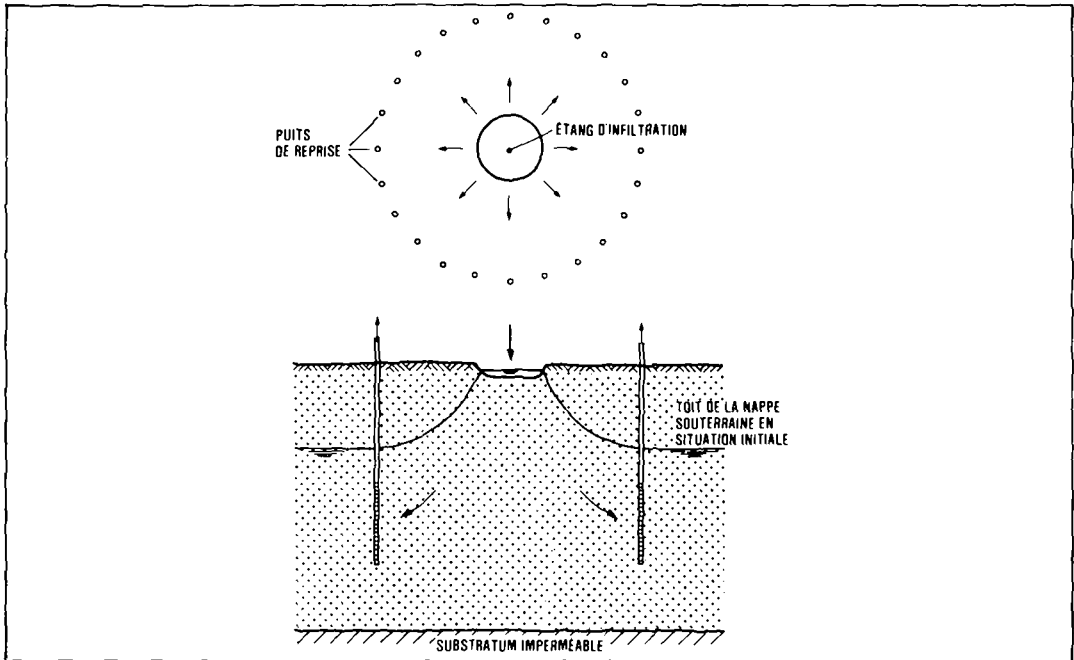


Figure 9.12.

Recharge d'une nappe aquifère profonde avec un étang d'infiltration entouré des puits de reprise de l'eau infiltrée

Les dispositifs de réalimentation artificielle décrits ci-dessus sont très bien adaptés aux besoins de petites collectivités, particulièrement dans les zones rurales. Compte tenu des exigences limitées que l'on peut alors imposer aux dispositifs d'alimentation, un traitement de l'eau n'est souvent pas envisageable. Pour desservir 200 personnes utilisant 15 litres par usager et par jour, le débit nécessaire ne serait que de $3 \text{ m}^3/\text{jour}$, ce qui peut être facilement obtenu avec une recharge artificielle. En supposant un temps de rétention de l'eau souterraine de 60 jours (2 mois), une nappe aquifère ayant une porosité de 40 % nécessitera un volume de 450 m^3 pour répondre aux objectifs. Pour une épaisseur moyenne saturée de 2 m., la surface nécessaire sera de 225 m^2 , par exemple, 7,5 m. de large et 30 m. de long. Cela peut être aisément obtenu en réalisant une excavation de 3 m. de profondeur, avec un revêtement d'argile ou de feuilles de plastique pour empêcher les pertes imputables aux infiltrations (figure 9.13.).

Il est possible de recourir à l'eau de pluie pour réaliser des recharges de nappe (figure 9.14.).

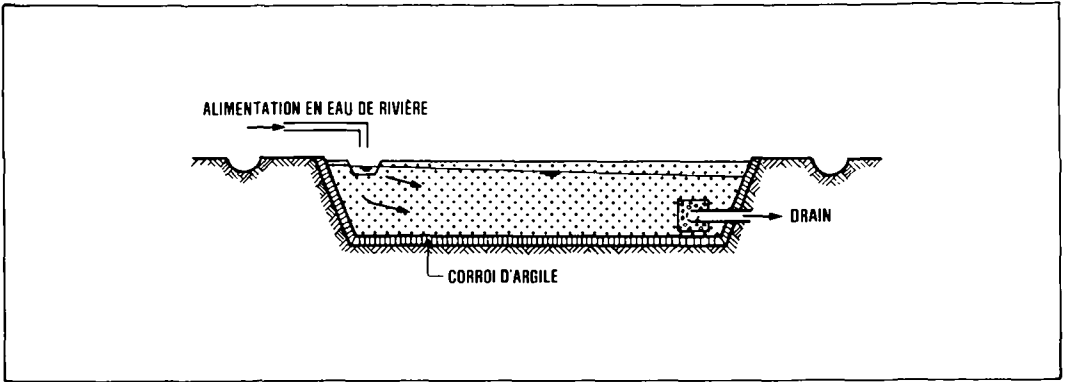


Figure 9.13.
Dispositif de recharge de petite capacité

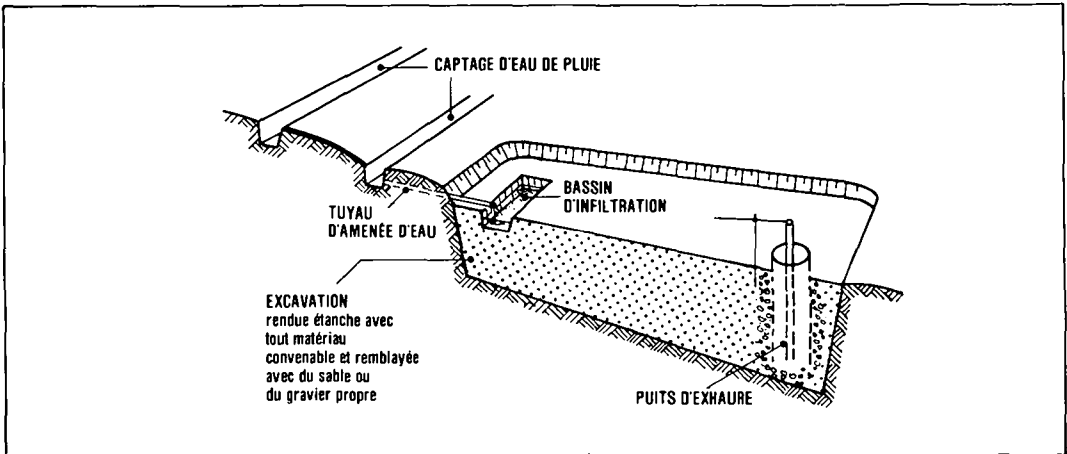


Figure 9.14.
Recharge artificielle utilisant l'eau de pluie

9.4 Barrages de sable

Les barrages de sable sont des réservoirs remplis de sable grossier, de cailloux ou de pierres tout venant. L'eau est stockée dans les pores constitués par le sable. Ce dispositif réduit considérablement les pertes d'eau par évaporation. Les barrages de sable sont, dans ces conditions, particulièrement utilisés dans les zones où l'évaporation est importante. Ils ont été construits dans de nombreuses zones semi-arides d'Afrique et d'Amérique. L'eau peut être stockée très longuement et, même dans des conditions d'extrême sécheresse, les barrages

de sable peuvent fournir l'eau mise en réserve.

L'eau est extraite du barrage de sable par un tuyau de drainage ou par un puits creusé dans le lit de sable près du barrage (figure 9.15.). En général l'eau peut être utilisée sans aucun traitement, car elle est filtrée en s'écoulant à travers le lit de sable.

Dans les zones semi-arides où les barrages de sable conviennent tout particulièrement, les eaux de ruissellement transportent souvent une grande charge de sédiments, aucune végétation n'empêchant l'érosion du sol. Des quantités considérables de sable et de graviers sont charriées par les eaux. Aussi, lorsqu'on construit en saison sèche dans le lit d'une rivière un mur de barrage pour un réservoir de stockage, les eaux qui s'écoulent durant la saison humide déposeront du sable et des graviers derrière ce barrage. Les eaux transporteront également des quantités importantes de limons. Pour que les dépôts soient surtout constitués de sable et de graviers, le mur du barrage sera d'abord construit sur une hauteur d'environ 2 m. Par la suite le mur sera surelevé pour permettre les dépôts de sable et de graviers. La hauteur définitive du barrage doit permettre l'évacuation à l'extérieur des limons transportés par les eaux d'inondation. Après 4 ou 5 ans, le barrage peut être établi à sa hauteur définitive (habituellement 6 - 12 m.).

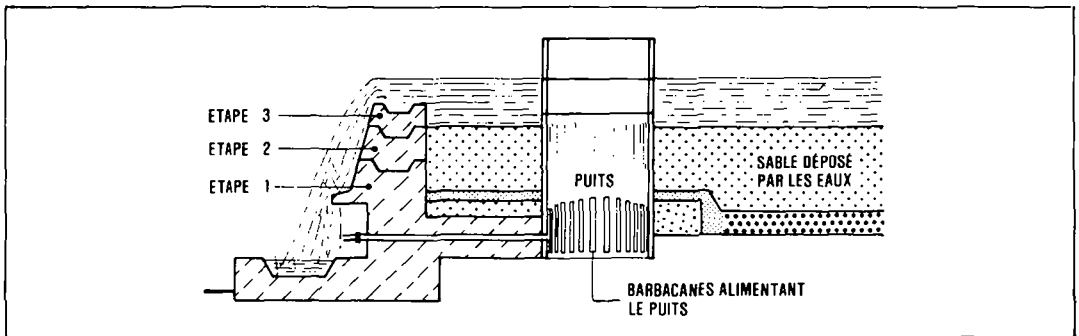


Figure 9.15.
Barrage de sable (schéma)

Les barrages de sable peuvent être utilisés très avantageusement pour réaliser une recharge artificielle car ils permettent d'évacuer par dessus le déversoir presque tous les sédiments fins contenus dans les eaux. On évitera ainsi les colmatages des aquifères par l'eau chargée de boues, qui pourraient poser des problèmes pour les systèmes de recharge classiques.

Recharge artificielle

ARTIFICIAL RECHARGE AND MANAGEMENT OF AQUIFERS

Report of Symposium, Haifa, 1967

International Association of Scientific Hydrology, 1968

(Publication No. 72)

Bize, J.; Bourguet, L.; Lemoine, J.

L'ALIMENTATION ARTIFICIELLE DES NAPPES SOUTERRAINES

Masson et Cie, Paris, 1972

Buckan, S.

ARTIFICIAL REPLENISHMENT OF AQUIFERS

In : Journal of Institution of Water Engineers, 1955, pp. 111-163

GROUNDWATER STORAGE AND ARTIFICIAL RECHARGE

United Nations, New York, 1975, 250 p.

(Natural Resources/Water Series No. 2/ST/ESA/13)

Huisman, L.

ARTIFICIAL RECHARGE

In : Proceeding Sixth International Water Supply Congress,

Stockholm, 1964

International Water Supply Association, pp. 11-18

Jansa, M.

ARTIFICIAL REPLENISHMENT OF UNDERGROUND WATER

In : Proceedings Second International Water Supply Congress

Paris, 1952

International Water Supply Association, pp. 149-191

Meinzer, R.

GENERAL PRINCIPLES OF ARTIFICIAL GROUNDWATER RECHARGE

In : Economic Geology, 1946, pp. 191-201

Muckel, D.C.

REPLENISHMENT OF GROUNDWATER SUPPLIES BY ARTIFICIAL MEANS

United States Department of Agriculture, 1959

(Technical Bulletin No. 1195)

10. pompage

10.1 Introduction

La technologie du pompage de l'eau s'est développée parallèlement aux sources d'énergie. Notre premier ancêtre qui s'est servi de ses mains comme d'une coupe pour prélever l'eau d'une rivière a choisi la technique de "pompage" appropriée à sa situation. Les moyens modernes comme les pompes centrifuges se sont largement développés et sont très utilisés, particulièrement dans les pays industrialisés, parce que des sources d'énergie convenables comme les moteurs diesel et les moteurs électriques étaient devenus disponibles.

Pour les petites collectivités des pays en voie de développement, l'énergie humaine ou animale constitue bien souvent l'énergie la plus facilement disponible pour le pompage de l'eau, particulièrement dans les zones rurales. Dans certaines conditions, l'énergie éolienne peut être utilisée. L'énergie solaire est à citer comme énergie potentielle. Les moteurs diesels ou électriques ne sont à utiliser que si l'approvisionnement en fuel ou en électricité est assuré, en même temps qu'un entretien convenable et qu'un approvisionnement en pièces détachées.

10.2 Sources d'énergie pour le pompage

Energie humaine

Les moyens manuels de pompage (1) - y compris les dispositifs fonctionnant avec le pied - recouvrent tous les systèmes simples actionnés par l'énergie humaine. Ils peuvent assurer l'exhaure de quantités d'eau relativement réduites. L'utilisation de l'énergie humaine pour le pompage de l'eau revêt certains traits qui sont importants dans les conditions des petites collectivités rurales des pays en développement :

- L'énergie nécessaire se trouvera au sein du groupe des consommateurs;
- Le coût des pompes manuelles est en général bas;
- Les débits fournis par un ou plusieurs moyens de pompage manuel couvrent habituellement les besoins en eau domestique d'une petite collectivité.

L'énergie humaine mise en oeuvre dépend de l'individu, de l'environnement et de la durée de l'action. L'énergie disponible pour un travail de longue durée, par exemple 8 heures par jour, pour un homme en bonne santé, est souvent estimée à 60 à 75 watts (0,08 à 0,10 cv). Ces chiffres sont à diminuer pour les femmes, les enfants et les personnes âgées. Ils sont également à réduire dans des conditions de températures élevées et de forte humidité. Lorsque la pompe est mal adaptée à l'utilisateur, on observe une grande déperdition d'énergie, par exemple lorsqu'une personne, pour actionner une pompe, est obligée de se courber.

 (1) On parle souvent de "pompes à main"



Photo: Matthijs de Vreede

Figure 10.1.
Alimentation en eau par pompage manuel (Bangladesh)

Energie animale

Les bêtes de trait sont une source courante et vitale d'énergie dans de nombreux pays en développement. L'énergie animale est mal adaptée pour actionner des pompes de petite capacité établies sur des puits couverts. Les animaux sont largement utilisés pour relever de l'eau destinée à l'irrigation à partir des puits ouverts de grand diamètre, mais ils ne peuvent être employés pour l'alimentation en eau d'une collectivité. L'utilisation la plus efficace des animaux se situera dans des emplacements aménagés où on leur fera tirer des dispositifs circulaires rotatifs ou pousser des manèges. On doit disposer de machines à engrenages avec des mouvements lents, les éléments constitutifs des pompes étant soumis à des déplacements importants. Les boeufs et les ânes sont très utilisés.

Energie éolienne

L'utilisation de l'énergie éolienne pour le pompage de l'eau sera possible si :

- Des vents d'au moins 2,5 à 3 m/sec. soufflent pendant au moins 60 % du temps;
- La ressource en eau peut être pompée de façon continue sans rabattement excessif;
- Un stockage est possible, au moins pour une consommation de trois jours, afin de compenser les jours sans vent;

- Par sécurité, on installe l'éolienne dans un site dégagé au-dessus et à plus de 125 m. d'obstacles tels que arbres ou constructions; de préférence l'éolienne sera établie sur une tour de 4,5 à 6 m. de haut;
- L'éolienne disponible peut fonctionner de manière relativement ininterrompue pendant de longues périodes de temps, par exemple 6 mois ou plus. Le mécanisme de commande doit être couvert et fourni avec un dispositif convenable de graissage. Les girouettes et les pièces exposées au vent doivent être protégées contre les intempéries.

Le type de loin le plus courant de pompe actionnée par le vent comporte une roue à rotation lente actionnant une pompe à piston. La pompe est en général équipée d'une tige reliée à l'axe moteur de l'éolienne. Un dispositif doit être prévu pour permettre un pompage manuel durant les périodes calmes.

Les diamètres des roues des éoliennes sont compris entre 2 et 6 mètres. Les éoliennes proprement dites sont importées, mais les tours qui les supportent sont habituellement construites avec des matériaux locaux.

Les éoliennes modernes sont conçues pour se mettre automatiquement dans le vent lorsque le pompage est en service. Elles sont aussi équipées d'un système qui éclipse automatiquement la roue lors d'un vent excessif dépassant 13 à 15 m/sec., qui pourrait endommager l'éolienne. Les pales de la roue peuvent être conçues de manière à s'effacer automatiquement pour empêcher la roue de tourner trop rapidement lors de grands vents. L'éolienne ne commence à pomper que lorsque la vitesse du vent atteint 2,5 à 3 m/sec. La figure 10.2. montre plusieurs aspects du pompage de l'eau par éoliennes.

Moteurs électriques

Les moteurs électriques nécessitent en général moins d'entretien et sont plus fiables que les moteurs diesels. On les préférera donc comme source d'énergie pour le pompage si l'on dispose d'une alimentation fiable en énergie électrique. Les moteurs électriques doivent alors être capables d'effectuer le travail qui leur incombera en prenant en considération les diverses difficultés auxquelles pourra se heurter le fonctionnement de la pompe. Si les besoins d'énergie d'une pompe dépassent la charge qui, pour des raisons de sécurité, peut être imposée au moteur électrique, celui-ci risque d'être endommagé ou grillé. Une attention spéciale doit donc être apportée aux caractéristiques du moteur et à la tension de la distribution électrique.

Il existe une tendance à utiliser les moteurs polyvalents existant sur le marché sans faire attention aux caractéristiques de la pompe particulière dont on dispose; cela conduit souvent à des pannes, voire à griller le moteur. Les moteurs à cage d'écureuil sont les plus utilisés pour actionner les pompes centrifuges car ce sont les moteurs les plus faciles à fabriquer.

Moteurs diesels

Les moteurs diesels ont l'important avantage de pouvoir fonctionner de façon indé-

pendante dans des endroits reculés. La contrainte principale est l'approvisionnement en gaz-oil et en lubrifiants. Ceux-ci, une fois obtenus, peuvent être transportés facilement presque partout. Les diesels, qui peuvent fonctionner en l'absence de fourniture de courant électrique, sont spécialement adaptés à l'entraînement d'unités isolées telles que les pompes de prise d'eau brute.

Un moteur diesel fonctionne par compression de l'air à forte pression dans une chambre de combustion. Du fait de cette haute compression, la température de l'air atteint plus de 1.000°C . Lorsque du gaz-oil est injecté par des ajutages débouchant dans la chambre, le mélange comprimé d'air et de gaz-oil s'enflamme spontanément.

Les moteurs diesels peuvent actionner des pompes à piston animées d'un mouvement rectiligne et alternatif aussi bien que des pompes centrifuges. Une boîte d'engrenages ou tout autre système de transmission convenable assure la liaison du moteur à la pompe. Pour toute installation de pompage actionnée par un moteur diesel, il est en général prudent de choisir un moteur ayant un surplus de puissance de 25 à 30 %, ce qui permet d'assurer en cas de besoin un service plus dur que dans les conditions normales de fonctionnement.

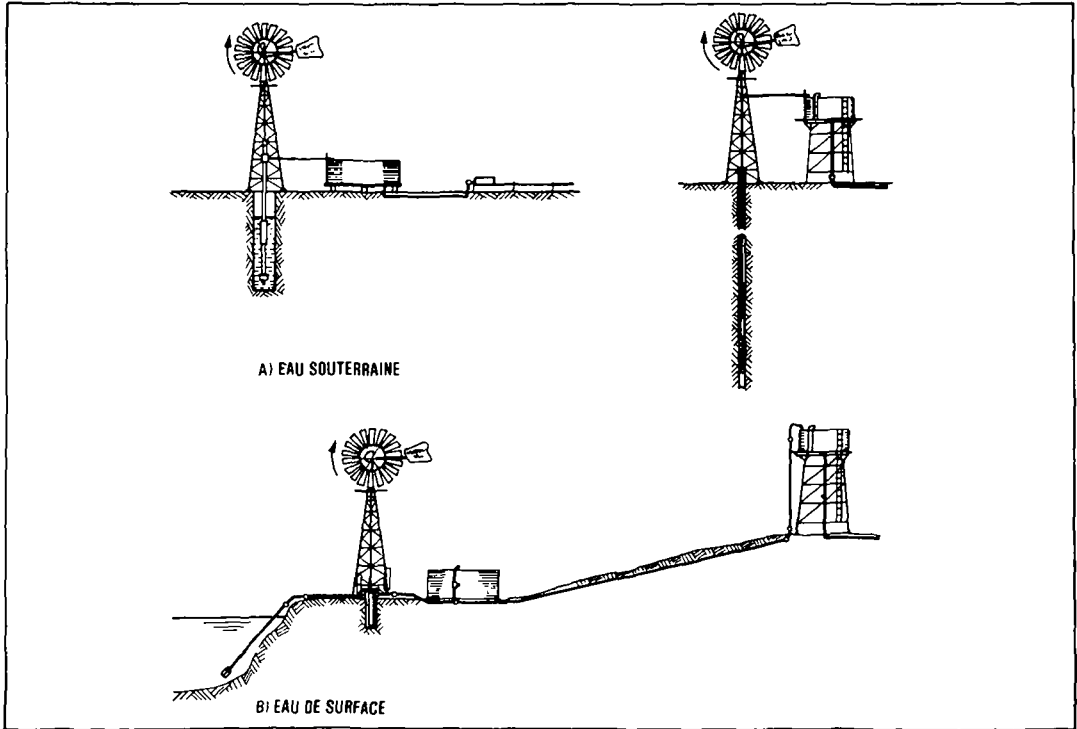


Figure 10.2.
Systèmes d'alimentation en eau par éolienne

10.3 Types de pompes

Les applications principales des pompes dans les dispositifs d'alimentation en eau des petites collectivités sont les suivantes :

- Pompage de l'eau des puits;
- Pompage de l'eau des prises d'eau de surface;
- Pompage de l'eau pour l'accumuler dans des réservoirs de stockage ou pour l'injection dans un éventuel réseau de distribution.

En se basant sur les principes mécaniques mis en cause, les pompes peuvent être classées comme il suit :

- Pompes à piston à mouvement rectiligne et alternatif (1);
- Pompes rotatives;
- Pompes à écoulement axial (pompes à aubes);
- Pompes centrifuges;
- Ejecteurs à air comprimé.

Un autre type de pompe, d'application limitée dans les réseaux d'alimentation en eau, est le béliet hydraulique. La figure 10.3. permet de déterminer le type de pompe à choisir pour une application particulière. Le tableau 10.1 fournit les caractéristiques des divers types de pompes.

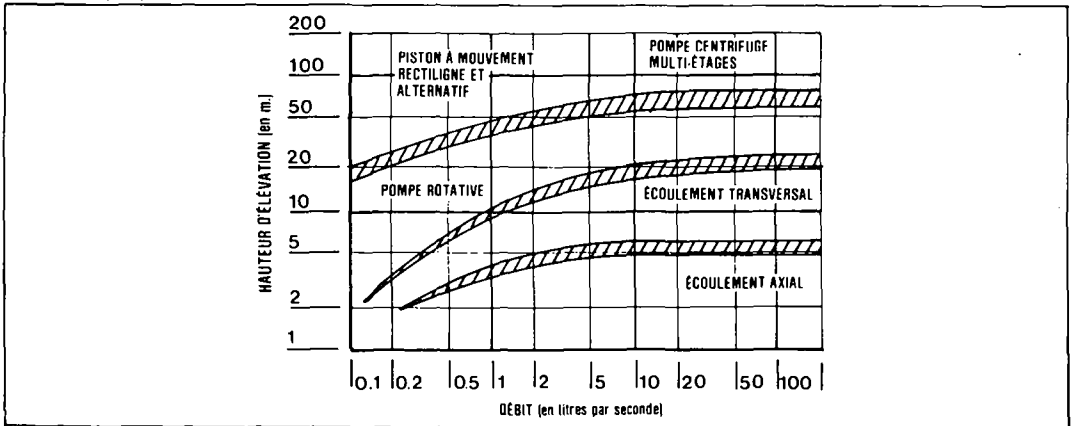


Figure 10.3.
Diagramme de sélection d'un type de pompe

- (1) Les pompes à piston à mouvement rectiligne et alternatif comportent un piston qui monte et descend (mouvement rectiligne et alternatif) dans un cylindre fermé pour obtenir un déplacement de l'eau vers le haut. En montant, le piston expulse l'eau, traverse le clapet de sortie; en même temps de l'eau est introduite dans le cylindre à travers le clapet d'entrée. Le piston, en descendant, revient à sa position de départ et un nouveau cycle de fonctionnement peut commencer.

Tableau 10.1.
Informations sur les diverses pompes

Types de pompes	Profondeur habituelle d'utilisation	Caractéristiques et possibilités d'application
1. Pompes à piston à mouvement rectiligne et alternatif		Fonctionnement lent; énergie manuelle, éolienne et moteur; faible rendement (25-60 %)
. Aspiration (puits ordinaire à faible profondeur)	jusqu'à 7 m.	Débit : 10-50 l/min.; convient pour des pompes ayant des charges variables; les clapets et les étanchéités des pistons doivent faire l'objet d'une attention spéciale
. Elevation (puits profond)		
2. Pompes rotatives		Vitesse de fonctionnement lente; énergie manuelle, animale, éolienne
. Pompes à chaîne et à godets	jusqu'à 10 m.	Débit : 5 à 30 l/min. Débit constant sous des charges variables
. Pompes à rotor hélicoïdal	25-150 m habituellement immergée	Utilise des engrenages : bonne efficacité de l'énergie manuelle, éolienne, moteurs; mieux adaptée aux faibles débits avec grande hauteur de pompage
3. Pompes à flux axial	5-10 m.	Grand débit - faible hauteur de pompage; peut pomper de l'eau contenant du sable ou des limons
4. Pompes centrifuges		Grande vitesse de fonctionnement. Travaille en douceur, eau évacuée sans à-coups. Le rendement (50-58 %) dépend de la vitesse et de la charge de pompage
. Un seul étage	25-35 m.	L'entretien exige de la compétence. Pas adaptée au fonctionnement manuel; actionnée par moteur diesel ou électrique
. Multi-étages, avec commande de la pompe par tringlerie	25-50 m.	Comme pour un seul étage. Le moteur, disposé au-dessus du sol, est facilement accessible; l'alignement et la lubrification de la commande sont délicats; débit 25 à 10.000 l/min.
. Multi-étages immergées	30-120 m.	L'entretien de la pompe multi-étages commandée par une tringlerie est difficile. La réparation du moteur ou de la pompe exige la sortie de l'unité du puits; grande fourchette pour les débits et les charges; sujette à usure rapide lorsque l'eau contient du sable.
5. Ejecteur à air comprimé	15-50 m.	Grand débit et faible hauteur; rendement très faible spécialement pour des élévations importantes; aucune pièce mobile dans le puits; la verticalité du puits n'est pas essentielle.

10.4 Pompes à piston à mouvement rectiligne et alternatif

C'est le type de pompe le plus utilisé pour les petites adductions d'eau (1). Plusieurs groupes peuvent être distingués :

- Aspiration; élévation
- Ecoulement libre; écoulement forcé
- Simple effet; double effet.

Pompes aspirantes (pour puits peu profonds)

Dans la pompe aspirante, le piston et son cylindre sont situés au-dessus du niveau de l'eau à l'intérieur même de la pompe (figure 10.4.).

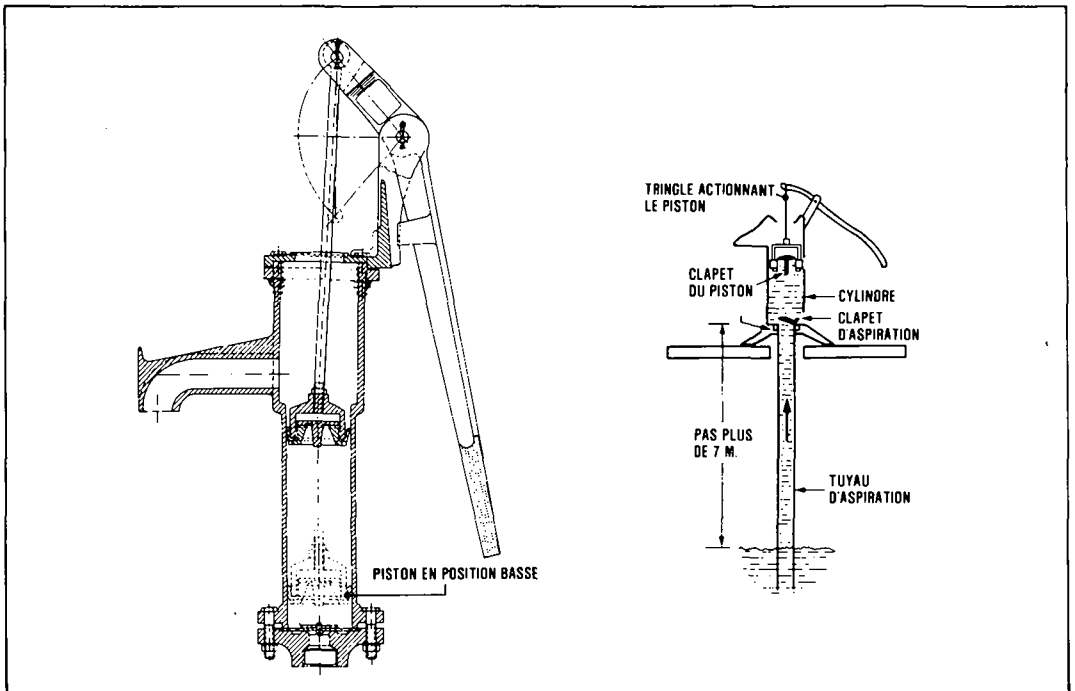


Figure 10.4.
Pompe aspirante (pour puits peu profonds)

(1) Alors que ce sous chapitre concerne les pompes à mouvement rectiligne et alternatif, les principes esquissés s'appliquent également aux autres types de pompes à déplacement positif.

La pompe aspirante utilise la pression atmosphérique pour pousser l'eau vers le haut du cylindre. Contrairement à ce qu'on pense en général, ce type de pompe "n'élève" pas l'eau à partir de la ressource : la pompe réduit la pression atmosphérique s'exerçant sur l'eau dans le tuyau d'aspiration; la pression atmosphérique agissant sur l'eau à l'extérieur du tuyau d'aspiration pousse alors l'eau vers le haut. En raison de cette dépendance à l'égard de la pression atmosphérique, l'utilisation d'une pompe aspirante est limitée aux situations dans lesquelles le niveau de la nappe d'eau souterraine n'est pas en exploitation, inférieur à 7 m. Théoriquement, la pression atmosphérique permet l'exhaure de l'eau à une profondeur de 10 m., mais la limite pratique est 7 m. (1).

Pompes élévatoires (pour puits profonds)

Les termes "puits profond" ou "puits peu profond" utilisés pour le choix d'une pompe, se réfèrent à la profondeur du niveau de l'eau dans le puits, et non pas à la profondeur du fond du forage ou à la longueur du tubage.

Dans la pompe pour puits profond, le cylindre et le piston sont établis en dessous du niveau de l'eau dans le puits. La pompe peut remonter l'eau dans des puits de 180 m., voire davantage. L'énergie mise en oeuvre au cours du pompage augmente avec la profondeur de la nappe d'eau souterraine; l'accès du cylindre ainsi établi profondément dans le puits, pour des opérations d'entretien et de réparations, est beaucoup plus difficile que pour les pompes pour puits peu profonds. Ainsi la conception des pompes pour puits profonds est plus difficile et plus compliquée que pour les pompes aspirantes.

Un exemple de pompe élévatoire (pour puits profond) est donné sur la figure 10.5.

La caractéristique principale de toutes les pompes élévatoires (pour puits profonds) est la place du cylindre. Celui-ci sera de préférence immergé afin d'assurer l'amorçage de la pompe.

Pompes foulantes

Les pompes foulantes sont conçues pour pomper l'eau d'une ressource disponible et l'élever à une cote supérieure à celle de la pompe ou pour l'injecter dans un dispositif en pression. Tous les systèmes d'alimentation en eau sous pression utilisent des pompes foulantes. Elles sont hermétiquement closes de façon que l'eau puisse s'écouler malgré l'existence d'une contre pression. Les pompes foulantes peuvent être utilisées sur puits peu profonds ou sur puits profonds (figure 10.6.).

(1) Elle dépend de l'altitude du lieu où la pompe est installée.

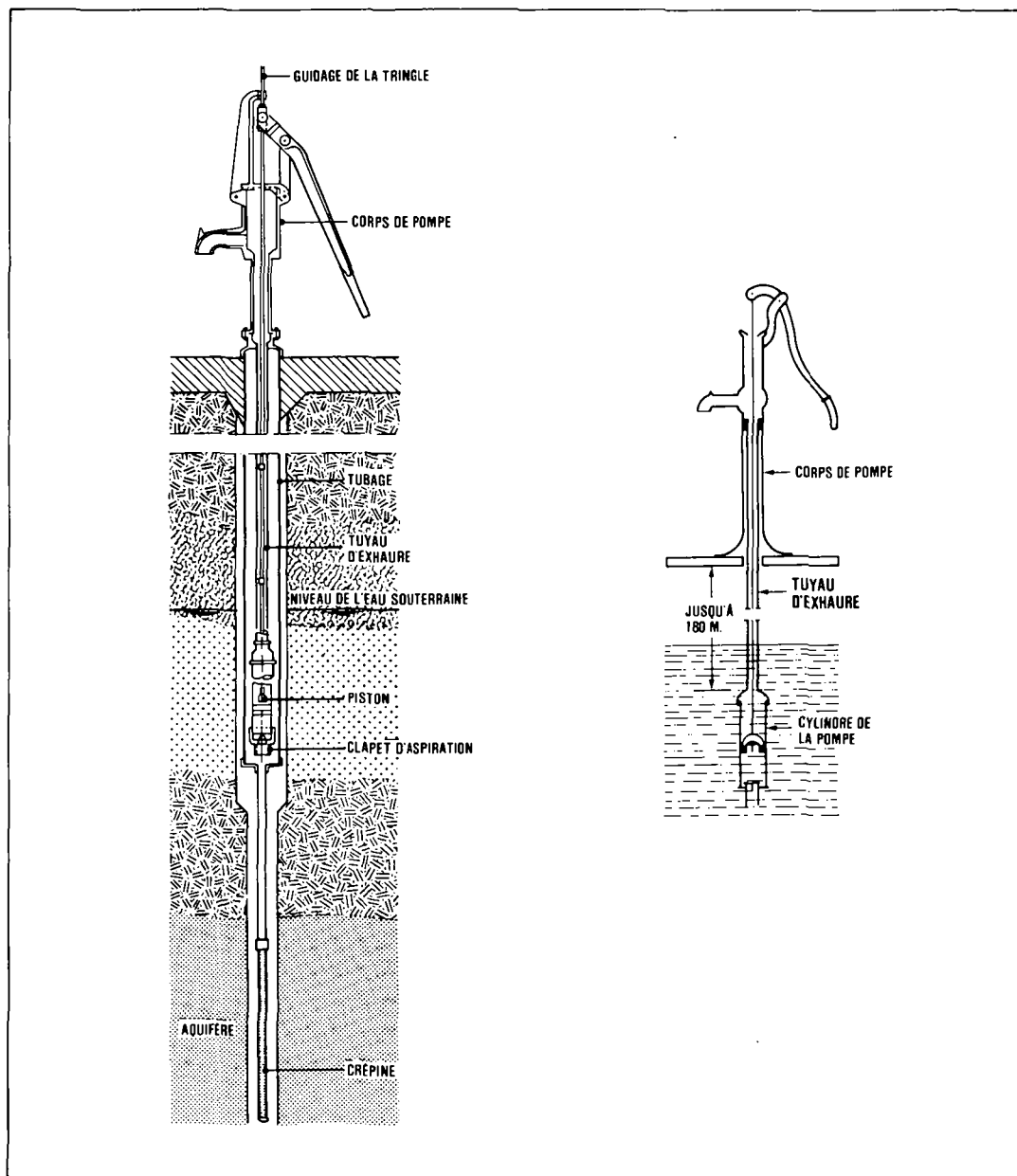


Figure 10.5.
Pompe élévatoire (pour puits profond)

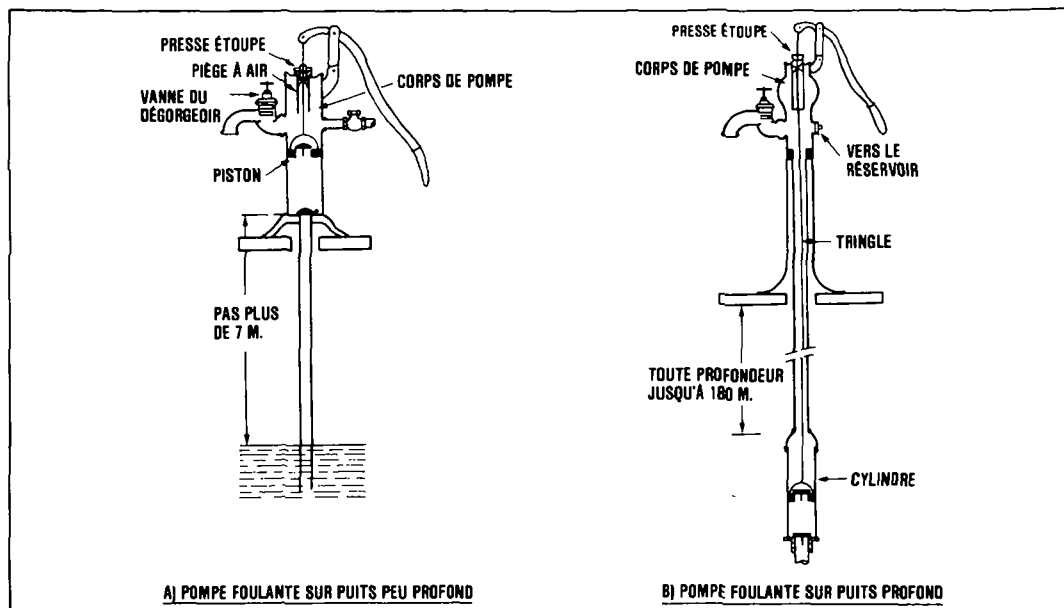


Figure 10.6.

Pompes foulantes

Une pompe foulante sur puits peu profond est présentée sur la figure 10.6a. Son principe de fonctionnement est le même que celui de la pompe à piston dont il a été question précédemment, si ce n'est que la partie supérieure de l'installation est hermétiquement close et qu'ainsi l'eau peut être élevée à une cote supérieure à celle de la pompe. L'acheminement de l'eau est alors réalisé par une connexion spéciale ou par une tuyauterie, souple ou rigide, fixée sur le corps de pompe.

Les pompes foulantes comportent habituellement à la partie supérieure du corps de pompe une chambre à air destinée à régulariser le débit refoulé. Lorsque le piston s'élève, l'air contenu dans cette chambre est comprimé; lorsque le piston descend, la détente de l'air permet le maintien de l'écoulement. Le tube borgne existant à la partie supérieure de la chambre est un piège à air destiné à éviter les fuites d'air le long de la tringle du piston.

La pompe foulante pour puits profond (figure 10.6b) fonctionne de la même façon. La différence essentielle réside dans le fait que le cylindre de la pompe est placé à l'intérieur du puits, ce qui permet de réaliser des exhaures pour des niveaux d'eau situés à des profondeurs supérieures à 7 m.

Pompes à diaphragme

Les pompes à diaphragme sont des pompes à déplacement positif. La partie essentielle de la pompe est son diaphragme, disque flexible en caoutchouc ou en métal. Des vannes de non-

retour sont placées à l'entrée et à la sortie (figure 10.7.).

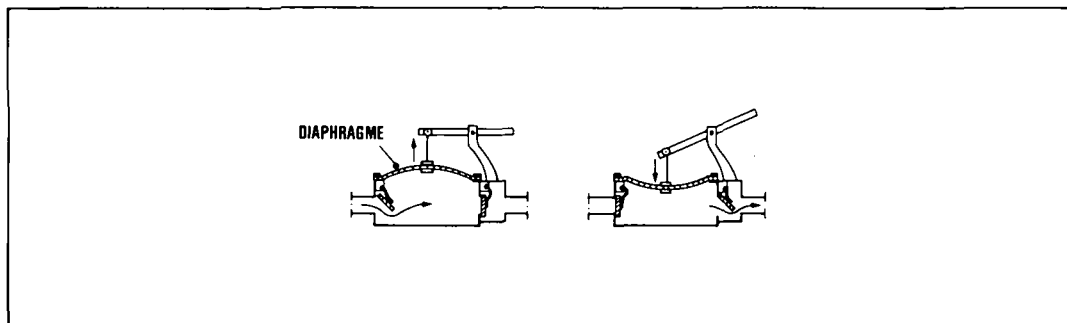


Figure 10.7.
Pompe à diaphragme

Le pourtour du diaphragme est fixé sur une chambre à eau qu'il recouvre, mais sa partie centrale est flexible. Une tige attachée au centre peut être animée d'un mouvement vertical alternatif. Lorsque le diaphragme est monté, l'eau est aspirée à travers la vanne d'entrée; lorsqu'il est descendu, l'eau est refoulée à travers la vanne de sortie. La vitesse de pompage est habituellement d'environ de 50-70 coups/minute. Ces pompes sont auto-amorçantes.

Le principe des pompes à diaphragme est mise en oeuvre dans de nombreux dispositifs originaux de pompage à main. Ces pompes ont été testées sur le terrain et mises en service pour des installations rurales d'alimentation en eau (hydropompe Vergnet, pompe Petro).

10.5 Pompes rotatives (à déplacement positif)

Pompes à chaîne

Dans la pompe à chaîne, des disques en caoutchouc, ou tout autre matériau approprié sont fixés sur une chaîne sans fin qui tourne autour d'une roue dentée disposée à la partie supérieure; les disques sont tirés vers le haut à travers un tube, ce qui assure un relèvement mécanique de l'eau vers le dégorgeoir. Ce type de pompe ne peut être utilisé que sur des citernes ou des puits peu profonds. Un tel dispositif peut être facilement construit par des artisans locaux (figure 10.8.). Une petite pompe à chaîne utilisant un tube de 20 mm de diamètre, avec des disques en caoutchouc espacés d'un mètre, pompera de 5 à 15 litres/minute selon la vitesse de rotation de la roue motrice (30 à 90 tours par minute).

On a construit de façon courante des pompes à chaîne utilisant des chiffons et des boules à la place de disques pour l'exhaure de l'eau dans les mines de l'Europe Occidentale du 16ème siècle. Les pompes à chaîne utilisant la traction animale sont utilisées en Asie pour l'irrigation.

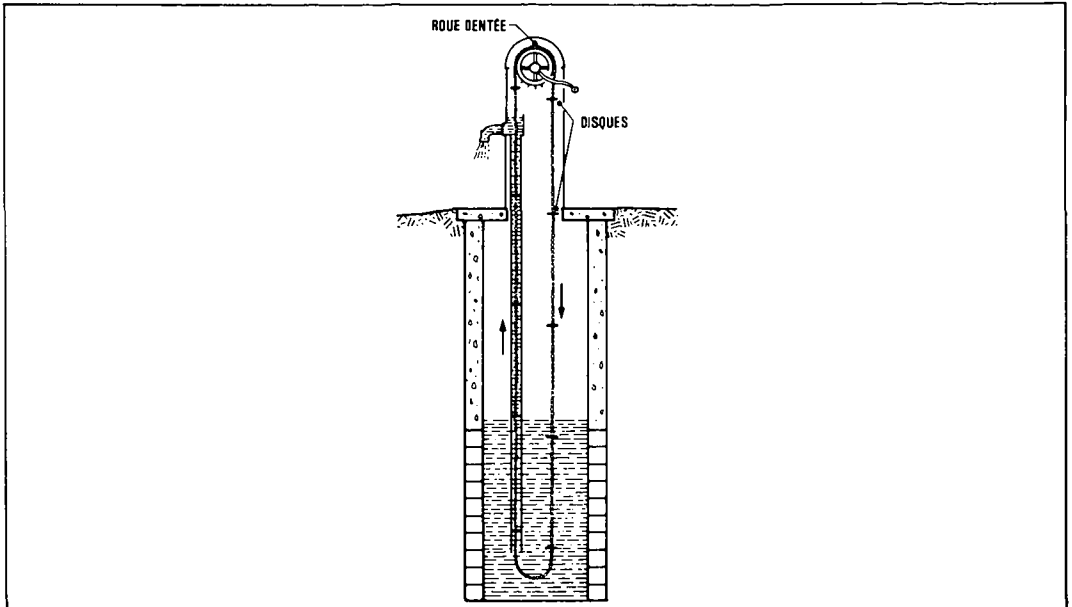


Figure 10.8.
Pompe à chaîne

Pompe à rotor hélicoïdal

La pompe comporte un rotor hélicoïdal à simple pas qui tourne à l'intérieur d'un stator hélicoïdal à double pas, (figure 10.9.).

L'engrènement des surfaces hélicoïdales entraîne l'eau vers le haut et induit un débit uniforme. Ce débit est proportionnel à la vitesse de rotation, et peut varier très simplement par changement de la poulie de transmission. Le rotor et le stator assurant par eux-mêmes une étanchéité continue et efficace, la pompe à rotor hélicoïdal n'a besoin d'aucun clapet. Les pompes à rotor hélicoïdal peuvent être utilisées dans des forages d'un diamètre égal ou supérieur à 100 mm. Bien qu'elles soient relativement chères, ces pompes ont rendu de bons services sur les puits profonds dans certains pays d'Afrique et d'Asie, où elles sont connues sous le nom de pompes "Mono", du nom de leur fabricant anglais.

Les pompes à rotor hélicoïdal peuvent être actionnées manuellement, par des moteurs électriques, des diesels ou des moteurs à essence.

10.6 Pompes à flux axial

Dans les pompes à flux axial, des ailettes ou des aubes radiales sont montées sur un impulseur mobile ou sur une roue et tournent dans un carter fixe (figure 10.10.).

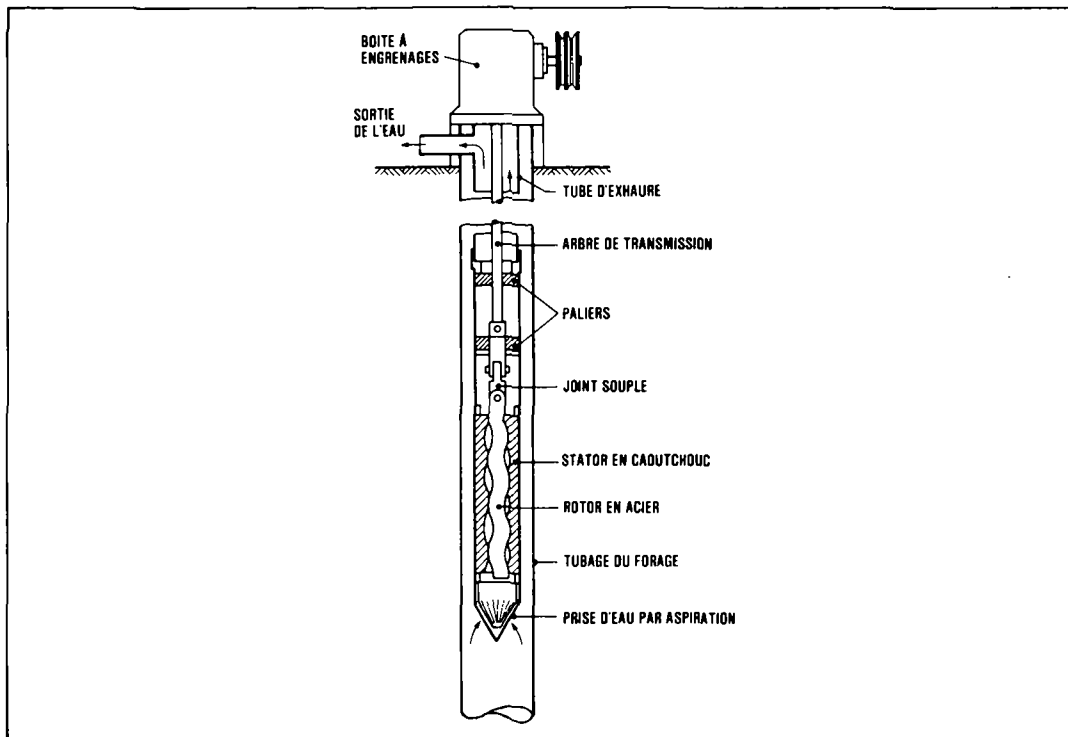


Figure 10.9.
Pompe à rotor hélicoïdale

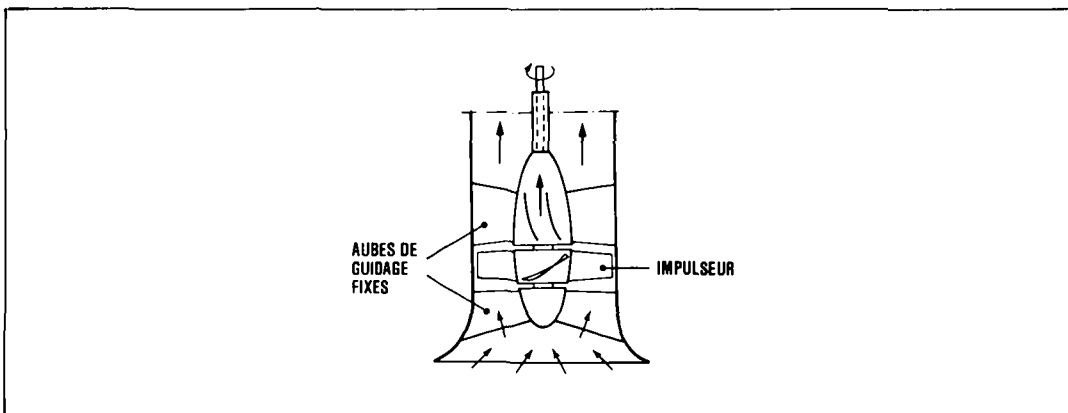


Figure 10.10.
Pompe à flux axial

La pompe assure la remontée de l'eau par l'effet mécanique qu'induisent les aubes tournantes. Les aubes fixes de guidage évitent des mouvements tourbillonnaires de l'eau à l'entrée et à la sortie de l'impulseur.

10.7 Pompes centrifuges

Les composants essentiels d'une pompe centrifuge sont la roue (ou l'impulseur) et le diffuseur (figure 10.11.).

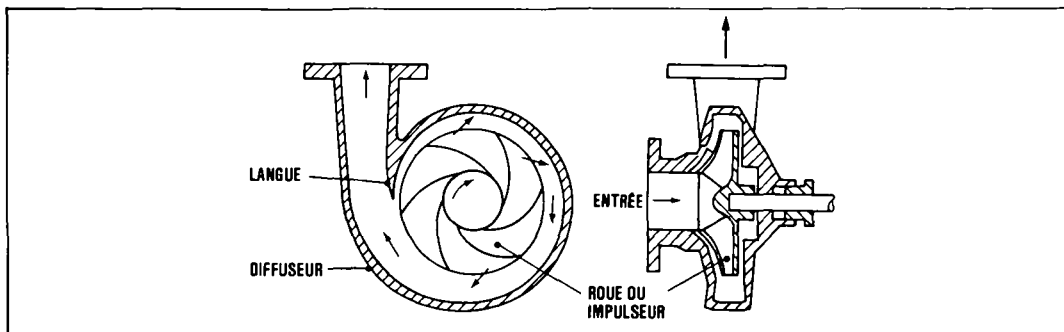


Figure 10.11.
Pompe centrifuge (type diffuseur à volute)

L'impulseur est une roue comportant des aubes rayonnantes du centre vers la périphérie. Lorsqu'il tourne à une vitesse suffisante, l'impulseur fournit à l'eau une énergie cinétique qui l'entraîne vers la périphérie du fait des forces centrifuges. Le diffuseur est conçu de façon telle que l'énergie cinétique contenue dans l'eau à sa sortie de l'impulseur soit en partie convertie en pression utile. Cette pression entraîne l'eau dans la canalisation d'évacuation. L'eau traversant l'œil de l'impulseur crée une aspiration; elle est de ce fait remplacée par l'eau issue de la ressource dont on réalise le pompage et propulsée dans le diffuseur sous une charge statique.

L'impulseur et le diffuseur qui lui correspond constituent un étage. Si la pression d'eau nécessaire dans une application donnée est supérieure à celle que fournit un seul étage, on peut alors placer un certain nombre d'étages en série (pompe multi-étages). Les impulseurs sont fixés à un arbre commun et tournent donc à la même vitesse. L'eau traverse les étages successivement, avec une augmentation de la pression à chaque étage. Les pompes centrifuges multi-étages sont couramment utilisées pour des pompages à grande hauteur d'élévation. La vitesse de rotation d'une pompe centrifuge affecte considérablement ses performances. Le rendement du pompage tend à s'améliorer lorsque la vitesse de rotation s'accroît. Cependant une grande vitesse peut exiger un entretien plus fréquent. L'objectif doit être de maintenir un équilibre entre le coût initial et les coûts d'entretien. Une étude complète des caractéristiques de la pompe est indispensable avant de prendre une décision sur le choix du matériel.

Dans les pompes centrifuges, la sortie de l'écoulement se fait dans une direction située à 90° de celle de l'entrée. Dans une pompe à écoulement axial (sous chapitre 10.6), l'écoulement de l'eau se poursuit à travers la pompe toujours dans la même direction sans aucune déviation (0°). Le terme "pompe hélico-centrifuge" est utilisé pour les pompes centrifuges dans lesquelles le changement de direction est compris entre 0° et 90° ; elles peuvent être à un seul étage ou multi-étages.

10.8 Dispositifs d'entraînement

On a recours à deux types d'entraînement pour le pompage de l'eau à partir de puits profonds : une tringlerie de transmission ou un moteur électrique immergé directement couplé à la pompe.

A - Tringlerie de transmission

L'arbre moteur ou le moteur est placé à la surface du sol et actionne la pompe en utilisant une tringlerie ou un arbre de transmission vertical (figure 10.12.). Une longue transmission nécessite l'établissement de cales à intervalles réguliers sur toute sa longueur et des liaisons flexibles pour éliminer les efforts résultant de mauvais alignements. L'avantage d'une tringlerie est que le mécanisme moteur peut être installé au-dessus du sol ou dans une fosse sèche; il sera ainsi facilement accessible pour l'entretien et les réparations. Un alignement soigneux de la tringlerie est nécessaire. Ce dispositif ne peut être établi dans des forages qui ne seraient pas bien rectilignes.

B - Couplage direct sur un moteur électrique immergé

Dans ce dispositif, une pompe centrifuge est directement couplée à un moteur électrique, la pompe et le moteur constituant un ensemble unique qui est construit pour un fonctionnement immergé dans l'eau à pomper.

L'ensemble pompe-moteur (souvent appelé "pompe immergée") est descendu à l'intérieur du forage, et installé à une profondeur convenable en dessous du niveau le plus bas atteint par l'eau en cours d'exploitation. Les pompes immergées sont souvent assez étroitement ajustées dans les forages, leur diamètre extérieur n'étant inférieur que de 1 ou 2 cm. à celui du tubage. Dans ces conditions, une grande attention doit être apportée à la mise en place ou à l'enlèvement de ces pompes.

Un câble électrique étanche relie le moteur à la boîte assurant le contrôle de l'installation (interrupteur, branchement à la source d'énergie). La boîte sera correctement mise à la terre pour minimiser les risques de courts circuits et de détériorations du moteur. La figure 10.14. présente une pompe immergée, vue éclatée).

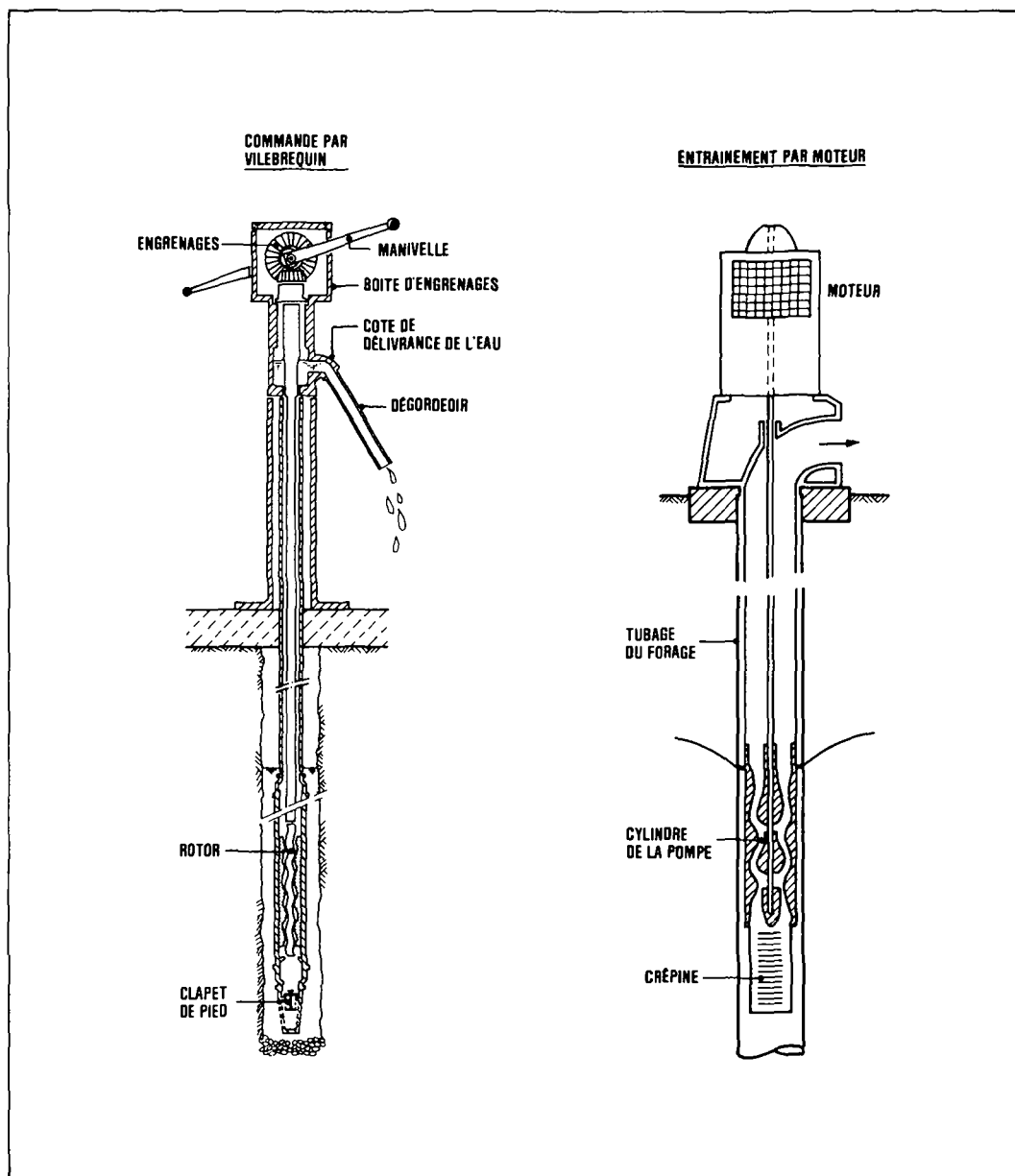


Figure 10.12
Pompes commandées par une tringlerie

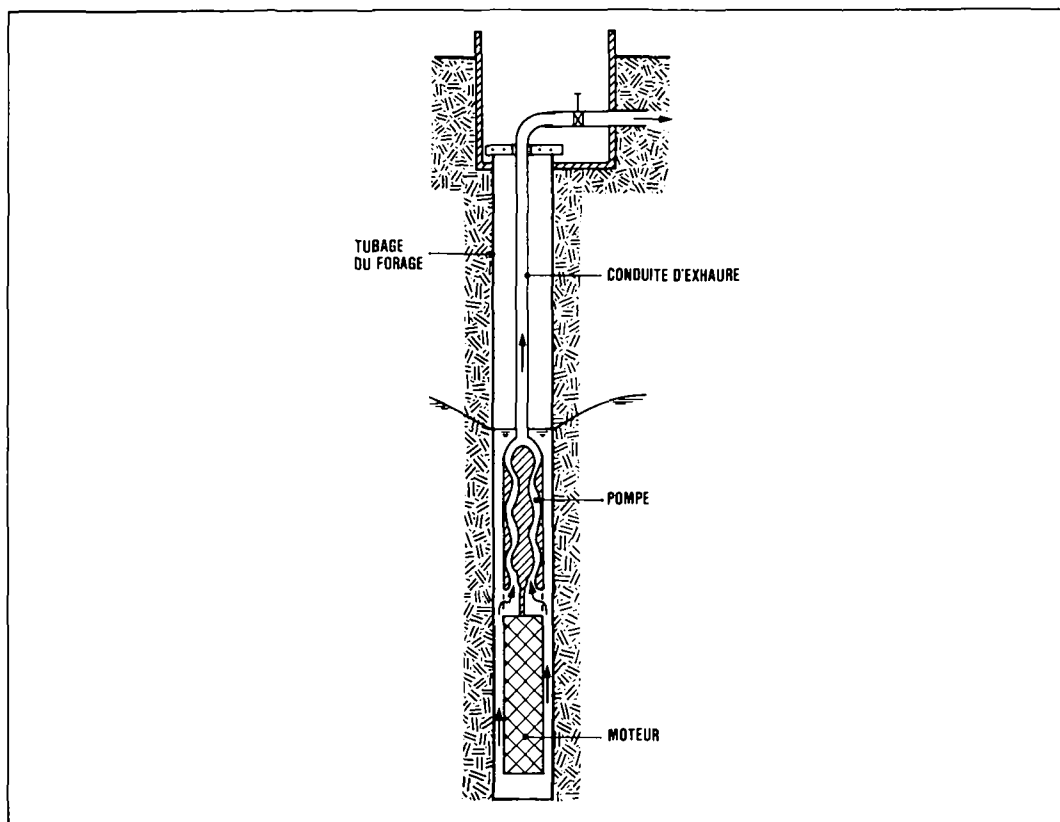


Figure 10.13.
Pompe actionnée par couplage direct sur un moteur électrique immergé

Le groupe moto pompe immergé est en général suspendu au tuyau d'exhaure qui évacue l'eau pompée vers une canalisation de distribution ou un réservoir.

Lorsque l'eau contient du sable, ou que l'on soupçonne qu'il pourrait y en avoir, des précautions spéciales doivent être prises avant de mettre en service une pompe immergée. L'action abrasive du sable durant le pompage abrègerait en effet considérablement la durée de vie de la pompe.

10.9 Ejecteurs à air comprimé

Un éjecteur à air comprimé élève l'eau en injectant des petites bulles d'air comprimé uniformément distribuées au pied d'un tuyau d'exhaure fixé dans un forage. Cela demande un compresseur d'air. Le mélange d'air et d'eau étant plus léger que l'eau qui se trouve à l'extérieur

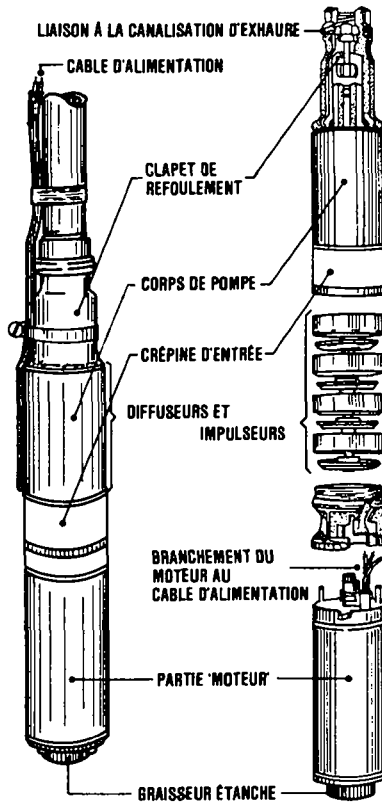


Figure 10.14
Pompe immergée (vue éclatée)

du tuyau d'exhaure, le mélange eau-air est entraîné vers le haut par la charge hydrostatique (figure 10.15.).

La hauteur (h) à laquelle une pompe à air comprimé doit élever l'eau est liée à la hauteur (s) de la partie immergée du tuyau d'exhaure. Une hauteur importante d'élévation exige une importante immersion sous le niveau atteint par l'eau dans le forage en cours de pompage. Le point d'injection de l'air comprimé se trouve à la même profondeur; il faut donc disposer d'air sous une pression suffisamment importante. Le défaut essentiel des éjecteurs à air comprimé est la faiblesse de leur rendement mécanique. Le rendement d'un éjecteur à air comprimé est d'environ 25 à 40 %, non comprises les pertes d'énergie dans le compresseur. En général, on n'utilise effectivement guère plus de 15 à 30 % de l'énergie totale consommée.

Cependant, les éjecteurs à air comprimé ont d'importants avantages. Ils sont simples à exploiter et ne sont pas affectés par les sables ou la vase qui se trouveront dans l'eau

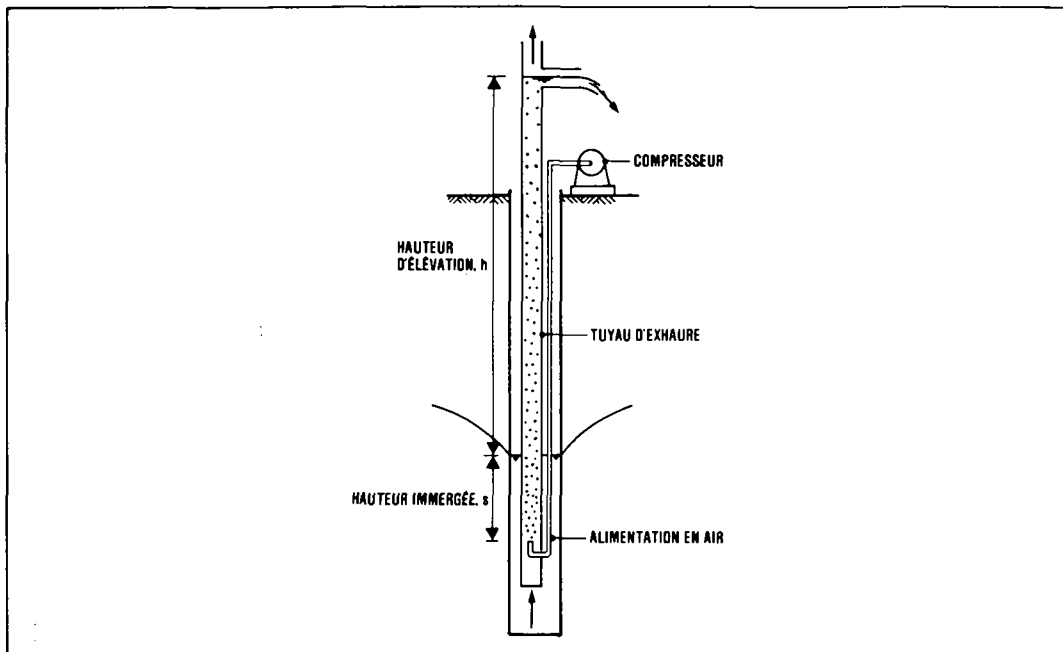


Figure 10.15.
Éjecteur à air comprimé (schéma)

pompée. Tout l'équipement mécanique (compresseur) est situé au-dessus du sol. Un certain nombre d'éjecteurs à air comprimé installés dans des forages voisins peuvent être exploités en n'utilisant qu'un seul compresseur. L'exhaure par éjecteurs à air comprimé peut se faire jusqu'à 120 m. de profondeur, avec des débits considérables. Les éjecteurs à air comprimé sont donc à prévoir pour des applications du genre de celles qui viennent d'être évoquées. Leurs avantages dépasseront alors les inconvénients résultant d'une forte consommation d'énergie imputable à un mauvais rendement mécanique. Ils pourront être plus particulièrement utiles dans les zones où l'eau souterraine contient beaucoup de sable et de vase et pour le pompage d'eaux acides (pH bas).

Le tableau 10.2. permet de guider les premières recherches dans le choix d'un éjecteur à air comprimé.

Tableau 10.2.
Guide pour le choix d'un éjecteur à air comprimé

Hauteur d'élévation	Hauteur submergée	Rapport du débit d'air au débit d'eau	Pression d'air nécessaire (en mètres d'eau)
10	12	3,0	20
20	20	4,7	30
30	25	6,2	40
40	28	7,9	45
60	40	9,6	65
80	49	11,6	85
100	58	13,3	105
120	71	14,8	125

Capacité de pompage (l/sec)	Diamètre du tuyau d'exhaure mm (pouces)	Diamètre de la conduite d'air mm (pouces)	Puissance du compresseur (CV)
2,5	75 (3")	25 (1")	1,5
5,0	100 (4")	40 (1 1/2")	2,5
7,5	100 (4")	40 (1 1/2")	4
10,0	125 (5")	50 (2")	5
15,0	150 (6")	50 (2")	7,5
20,0	150 (6")	60 (2 1/2")	10
40,0	200 (8")	75 (3")	20

10.10 Béliers hydrauliques

Le béliers hydrauliques ne nécessite aucune source extérieure d'énergie. Il utilise l'énergie contenue dans le courant d'eau qui le traverse pour élever à un niveau supérieur une petite partie de cette eau. Le principe du dispositif réside dans le fait qu'une pression se développe lorsqu'une masse d'eau en mouvement est brusquement stoppée. Il faut donc, pour faire fonctionner le béliers hydrauliques, un courant d'eau et une chute d'eau suffisamment importants et permanents. Les conditions favorables se rencontrent le plus souvent en montagne ou dans des zones de collines. Les béliers hydrauliques ne conviennent pas pour le pompage de l'eau dans des puits ou des forages.

Le béliers fonctionne à partir d'un flux d'eau en provenance de la ressource qui arrive par le tuyau d'amenée d'eau dans le corps du béliers. L'eau s'échappe à travers la soupape d'impulsion qui est ouverte (cette eau est perdue). Lorsque l'écoulement à travers cette soupape est assez rapide, la force ascendante de l'eau excédera la tension du ressort qui la commande et la soupape d'impulsion se fermera brusquement.

La masse d'eau en mouvement est arrêtée et sa force vive est à l'origine d'un coup de béliers sur la conduite d'amenée. Sous cet effet l'eau est entraînée vers le clapet de pied

et le tuyau de refoulement. L'eau continue à travers le clapet de pied (dispositif de non-retour) jusqu'à épuisement de l'énergie fournie par le coup de bélier dans le tuyau d'amenée d'eau. La chambre à air permet de régulariser le débit d'eau refoulée en absorbant une partie de la pression qui subsiste après passage de la vague initiale résultant le coup de bélier. Lorsque celui-ci est complètement amorti, la légère aspiration créée par la force vive de l'écoulement de l'eau, conjuguée avec le poids de l'eau dans le tuyau d'amenée d'eau, provoque la fermeture du clapet de pied (vanne de non-retour) et empêche le retour vers le bélier de l'eau contenue dans le tuyau de refoulement. Le ressort de la soupape d'impulsion provoque alors son ouverture et l'eau s'échappe de nouveau à travers elle. Un nouveau cycle de fonctionnement débute.

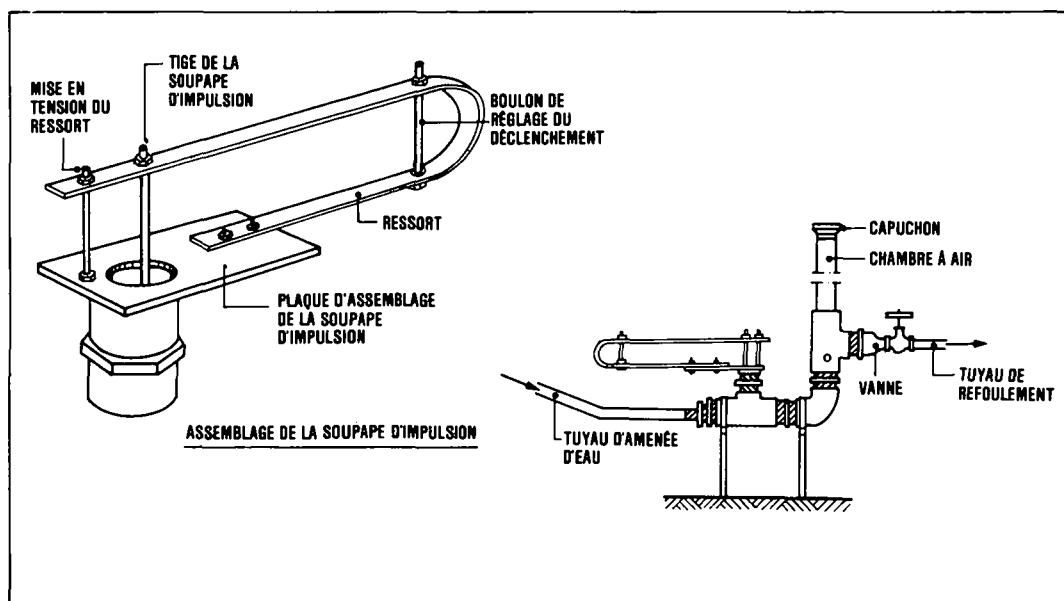


Figure 10.16.
Bélier hydraulique type

Une fois effectué le réglage de la vanne d'impulsion, le bélier hydraulique ne nécessite plus de surveillance car l'écoulement de l'eau provenant de la ressource disponible est continu, avec le débit qui convient, sans aucune introduction d'élément étranger qui risquerait de bloquer soupapes et clapets.

L'appareil comporte une soupape d'entrée d'air pour permettre une certaine arrivée d'eau qui maintiendra la charge en air de la chambre. A défaut, l'eau sous pression absorbant

une certaine quantité d'air, la chambre à air se remplirait d'eau très rapidement et le béliet hydraulique cesserait de fonctionner.

Le béliet hydraulique présente les avantages suivants :

- Aucun besoin de sources d'énergie et aucun frais de fonctionnement;
- Simplicité de fabrication. On peut utiliser des matériaux locaux et un équipement artisanal simple;
- Il y a seulement deux parties mobiles.

Un petit débit d'eau, lorsqu'on dispose d'une chute importante, permettra à un béliet hydraulique de remonter autant d'eau qu'un important écoulement lorsqu'on ne dispose que d'une petite chute. La plupart des béliets hydrauliques travailleront à leur meilleur rendement si la charge d'alimentation est environ le 1/3 de la hauteur d'élévation. Plus la hauteur de pompage est grande, plus le volume d'eau relevé est faible.

Dans le cas où le débit de pompage demandé est supérieur à celui d'un béliet hydraulique, une batterie de plusieurs béliets peut être utilisée, à condition que la source d'alimentation ait un débit suffisant (figure 10.17.).

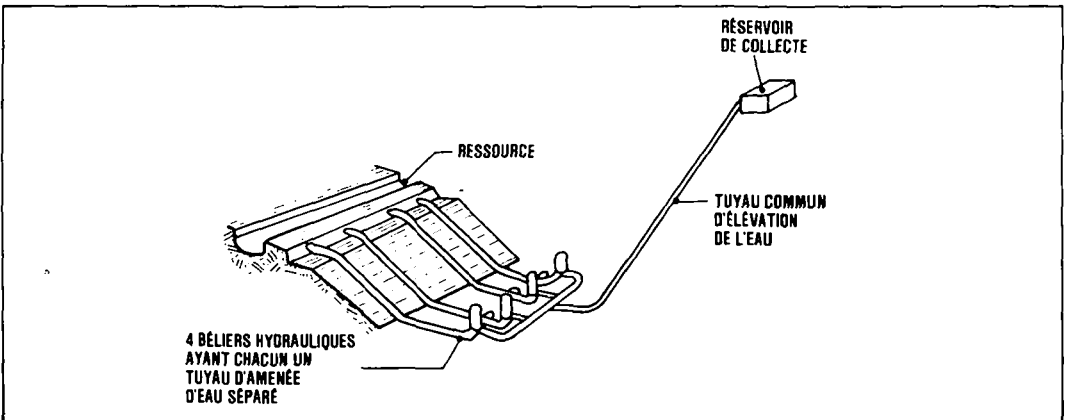


Figure 10.17.

Béliets hydrauliques placés en parallèle

L'entretien d'un béliet hydraulique se limite à très peu de choses et est peu fréquent. Il comprend :

- le remplacement des clapets en caoutchouc lorsqu'ils sont usés;
- l'ajustement du réglage;
- le resserrement des boulons quand ils deviennent lâches.

Le béliet hydraulique a parfois besoin d'être démonté pour être nettoyé. Il est essentiel d'éviter l'entrée de débris dans le tuyau d'amenée d'eau. Pour cette raison, il est nécessaire d'installer un grillage ou un crépine pour retenir les feuilles et les débris flottants.

Pompage

Addison, H.
THE PUMP USERS HANDBOOK
Pitman & Sons Ltd., London, 1958, 122 p.

Addison, H.
CENTRIFUGAL AND OTHER ROTODYNAMIC PUMPS
Chapman and Hall, London, 1956 (3rd Edition)

Benamour, A.
LES MOYENS D'EXHAURE EN MILIEU RURAL
Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques (C.I.E.H.)
Ouagadougou, Upper Volta, 1979

L'EQUIPEMENT DES VILLAGES EN Puits ET FORAGES
Commission de Communautés Européennes, Brussels, 1978

Karassik, I.J.; Krutzch, W.C.; Fraser, W.H.; et al
PUMP HANDBOOK
MacGraw-Hill, New York, 1958

McJunkin, F.E.
HANDPUMPS FOR USE IN DRINKING WATER SUPPLIES IN DEVELOPING COUNTRIES
International Reference Centre for Community Water Supply
The Hague, 1977, 230 p. (Technical Paper Series No. 10)

Pacey, A.
HAND PUMP MAINTENANCE.
Intermediate Technology Publications Ltd., London, 1976, 38 p.

Romero, J.A.C.
MANUAL DE POZOS RASOS
Organization Panamericana de Salud, Washington D.C., 1977

Ross Institute
SMALL WATER SUPPLIES
London School of Hygiene and Tropical Medicine, London, 1964, 67 p.

Silver, M.
USE OF HYDRAULIC RAMS IN NEPAL
UNICEF, Kathmandu, Nepal, September 1977, 46 p.

Thanh, N.C.; Pescod, M.B.; Venkitachalam, T.H.
DESIGN OF SIMPLE AND INEXPENSIVE PUMPS FOR VILLAGE WATER SUPPLY SYSTEMS
Asian Institute of Technology, 1979 (Final Report No. 67)

UNICEF Guide List OLGa
UNICEF, New York, 1975, 324 p. (under revision)

Watt, S.B.
A MANUAL OF THE HYDRAULIC RAM FOR PUMPING WATER
Intermediate Technology Publications Ltd., London, 1974, 37 p.

11. traitement de l'eau de consommation

11.1 Introduction

Il est nécessaire, dans certains cas, de traiter l'eau pour qu'elle puisse convenir à la boisson et aux usages domestiques. Toute forme de traitement dans un système d'alimentation en eau conduit à une dépense qui peut être relativement élevée. De plus, les problèmes d'entretien du système d'alimentation en eau, et les risques d'échec, se trouvent considérablement accrus. Quelques processus du traitement de l'eau sont plus aisés que d'autres à entretenir, mais ils nécessitent tous une surveillance et une attention régulières. Lorsque l'on conçoit une station de traitement de l'eau, les sujétions de fonctionnement et d'entretien sont des facteurs clés auxquels il convient de porter une grande attention.

L'objectif du traitement de l'eau est de transformer l'eau, eau souterraine ou eau de surface, l'eau brute, en une eau potable convenant aux usages domestiques. Le plus important est l'élimination des organismes pathogènes et des substances toxiques telles que les métaux lourds qui risquent d'être à l'origine de maladies. D'autres substances devront également être éliminées ou au moins considérablement réduites. Ce sont : les matières en suspension, qui provoquent la turbidité, les composants du fer et du manganèse qui donnent un goût amer ou une coloration, l'excès de dioxyde de carbone générateur de corrosions pour les parties métalliques et les bétons. Pour des systèmes d'alimentation en eau desservant de petites collectivités, d'autres éléments tels que la dureté, les composants organiques et l'ensemble des solides dissous pourront être moins importants. Ils pourraient être réduits jusqu'aux teneurs fixées par les normes mais le traitement de l'eau pourra être limité par des considérations d'ordre technique et d'ordre économique. Les normes de qualité pour l'eau potable présentées dans le chapitre 3 sont à considérer comme un guide lorsque l'on fixe les limites du traitement à réaliser dans un cas particulier.

Différents processus de traitement de l'eau (appelés aussi "opérations unitaires") ont été mis en oeuvre. Quelques uns visent à une action bien déterminée, d'autres ont des effets multiples. Souvent un résultat donné peut être obtenu de différentes manières (tableau 11.1). Les processus de traitement mentionnés font l'objet des chapitres 12 à 17. La recharge de nappes (chapitre 9) peut constituer également un processus de traitement de l'eau.

Le stockage de l'eau peut être considéré comme un traitement. Par exemple, normalement, les cercaires de schistosomes ne peuvent survivre plus de 48 heures dans un réservoir. Le nombre des coliformes et des streptocoques fécaux est considérablement réduit lorsqu'une eau brute séjourne dans un réservoir. Le stockage permet également de réaliser une sédimentation, ce qui réduit la teneur de l'eau en éléments solides décantables. Le stockage, cependant, peut provoquer l'apparition d'algues. L'évaporation de l'eau est souvent à l'origine d'autres complications. Ces effets seront minimisés si les réservoirs de stockage sont couverts, ce qui permet aussi de les protéger contre la poussière, les insectes, la pollution de l'air et l'intrusion de petits animaux.

Tableau 11.1

Efficacité des processus de traitement de l'eau sur l'élimination de diverses impuretés :

+++ etc = effet très positif

o = pas d'effet

- = effet négatif

Processus de traitement Elément considéré	Aération	Coagulation et Flocculation chimiques	Sédimentation	Filtration rapide	Filtration lente sur sable	Chloration
Oxygène dissous	+	o	o	-	--	+
Élimination du dioxyde de carbone	-	o	o	+	++	+
Réduction de la turbidité (1)	o	+++	+	+++	++++	o
Réduction de la couleur	o	++	+	+	++	++
Élimination des goûts et des odeurs	++	+	+	++	++	+
Élimination des bactéries	o	+	++	++	++++	++++
Élimination du fer et du manganèse	++	+	+	++++	++++	o
Élimination de la matière organique	+	+	++	+++	++++	+++

On combine fréquemment un certain nombre de processus de traitement afin d'obtenir le résultat souhaité. Pour l'eau souterraine et une eau de surface limpide, il suffira sans doute d'un seul ou d'un petit nombre de processus. Une eau de surface légèrement polluée peut être suffisamment traitée en utilisant un petit nombre de processus; une eau très polluée exige de nombreux processus de traitement, appliqués en série, pour qu'elle puisse en toute sécurité être utilisée pour la boisson et les usages domestiques. Pour les systèmes d'alimentation en eau desservant de petites collectivités, des procédés compliqués de traitement ne sont pas souhaitables; dans de tels cas la meilleure solution serait de recourir à une autre

(1) La turbidité de l'eau est provoquée par les matières en suspension qui dispersent et absorbent les rayons lumineux, donnant ainsi à l'eau une apparence opaque et une coloration laiteuse.

source d'eau non polluée même lorsque celle-ci est éloignée. Une alternative peut être l'utilisation de formations souterraines pour le stockage de l'eau de surface et l'amélioration de sa qualité (alimentation artificielle).

Une fois la source d'eau choisie, et les modifications à lui faire subir arrêtées, l'ingénieur peut décider du traitement à appliquer. Les chapitres suivants donnent les informations nécessaires et constituent des guides. Pour les alimentations en eau de petites collectivités, les considérations les plus importantes pour la conception sont :

- Un faible coût;
- Un équipement mécanique aussi réduit que possible;
- L'absence, si possible, de recours à des produits chimiques;
- Un fonctionnement et un entretien faciles.

Des aménagements relativement simples peuvent être efficaces, lorsqu'ils sont bien conçus. La présentation des processus de traitement sur la figure 11.1. est instructive sur ce point.

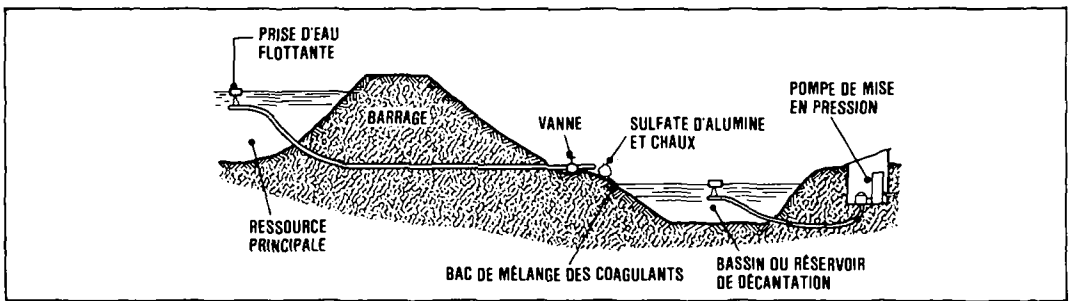


Figure 11.1.
Aménagements simples pour une prise d'eau, bac de mélange de coagulant et bassin de décantation

11.2 Eau souterraine: qualité et traitement

L'eau souterraine provient essentiellement de l'infiltration de l'eau de pluie, qui atteint les nappes aquifères en traversant les couches souterraines; au cours de son infiltration, l'eau emmagasinera de nombreuses impuretés telles que des particules minérales ou organiques comme de la terre, des débris provenant de la vie des plantes et des animaux, des micro-organismes, des engrais, naturels, ou chimiques, des pesticides, etc... Cependant, au cours de son écoulement souterrain, il se produira une importante amélioration de la qualité de l'eau : les particules en suspension sont éliminées par la filtration, les substances organiques dégradées par l'oxydation, et les micro-organismes meurent faute de substances nutritives. Les composants minéraux dissous ne sont pas supprimés et, en fait, le contenu minéral de l'eau peut augmenter considérablement par lessivage des couches souterraines.

L'eau souterraine, si l'exhaure est correctement réalisée, sera libre de toute turbidité et d'organismes pathogènes. Lorsqu'elle provient d'une nappe de sables aquifères propres, il n'y a aucun risque qu'elle renferme des substances dangereuses. Dans ces cas, une utilisation directe de l'eau comme eau potable peut être autorisée sans aucun traitement. Lorsque l'eau provient d'une nappe aquifère contenant des matières organiques, l'oxygène aura été consommé et la teneur de l'eau en dioxyde de carbone est probablement très élevée. L'eau sera alors corrosive à moins qu'elle ne contienne du carbonate de calcium sous une forme ou sous une autre. Dans les cas où la teneur en matières organiques de la nappe aquifère est importante, tout l'oxygène peut être complètement éliminé. L'eau ne contenant pas d'oxygène (eau en anaérobiose) dissolva le fer, le manganèse et les métaux lourds du sous-sol. Ces substances peuvent être éliminées par un traitement, par exemple par aération. Le dioxyde de carbone contenu dans l'eau sera réduit, éliminé ou maintenu, en fonction du système d'aération. Une réduction du dioxyde est souhaitable si l'eau est corrosive mais, dans d'autres cas, elle peut provoquer des dépôts gênants de carbonate de calcium.

Parfois, l'eau souterraine contient des quantités excessives de fer, de manganèse et d'ammoniaque. En Europe, où les eaux souterraines sont rares, elles doivent souvent, elles aussi, après exhaure, être traitées par coagulation chimique et floculation ou par filtration pour les rendre aptes à l'utilisation domestique et à la boisson. Cependant, pour l'alimentation en eau de petites collectivités villageoises, dans les pays en voie de développement, ces processus sont trop compliqués et doivent être évités autant que possible. Le tableau 11.2. résume les processus de traitement décrits ci-dessus.

11.3 Eau de surface: qualité et traitement

L'eau de surface peut être prélevée dans des rivières, des lacs ou des canaux d'irrigation. Cette eau provient en partie des écoulements souterrains et en partie des eaux de pluie qui se sont écoulées sur le sol. Les écoulements souterrains apporteront des solides dissous aux eaux de surface; les écoulements de surface constituent la cause essentielle de la turbidité et de la teneur en matières organiques, ainsi que de la présence des organismes pathogènes. Les particules minérales dissoutes se maintiendront sans changement dans les rivières ou les plans d'eau qui regroupent les eaux de surface mais les diverses impuretés y seront dégradées à travers des processus chimiques ou microbiens. La sédimentation qui se produit dans une eau de surface stagnante ou à débit lent entraîne l'élimination des solides en suspension. Les organismes pathogènes meurent faute de nourriture. Cependant, une nouvelle contamination de l'eau de surface est probable du fait d'introductions d'eaux polluées et d'apparitions d'algues.

Dans les zones à population dispersée, une eau claire d'une rivière ou d'un lac peut ne nécessiter aucun traitement pour la rendre potable. Cependant, prenant en compte le risque d'une contamination accidentelle, on doit appliquer une chloration, par mesure de sécurité, lorsque cela est possible. L'eau de surface non polluée de faible turbidité peut être purifiée

Tableau 11.2.
Traitement de l'eau souterraine

Qualité de l'eau	Aération pour		Décantation simple	Filtration rapide	Post-chloration par précaution
	----- Accroître l'Oxygène	Réduire le CO ₂			
En aérobiose, moyennement dure, non corrosive					0
En aérobiose, douce et corrosive		X			0
En anaérobiose, moyennement dure, non corrosive pas de fer ni de manganèse	X				0
En anaérobiose, moyennement dure, non corrosive fer et manganèse	X		0	X	0
En anaérobiose, douce, corrosive pas de fer ni de manganèse	X	X			0
En anaérobiose douce, corrosive fer et manganèse	X	X	0	X	0

(X = nécessaire, 0 = optionnel)

par filtration lente sur sable, processus de traitement simple, ou par filtration rapide suivie seulement d'une chloration. Les filtres lents à sable, particulièrement dans les zones rurales des pays en voie de développement, ont le grand avantage de pouvoir être construits par des ouvriers locaux, avec des matériaux disponibles, sans une grande surveillance d'experts.

Lorsque la turbidité de l'eau à traiter est importante, ou lorsqu'il y a des algues, les filtres lents à sable se colmatent rapidement. Un pré-traitement sera nécessaire, comme la sédimentation, la filtration rapide ou ces deux processus combinés. Pour les particules colloïdales en suspension, leur élimination par décantation peut être considérablement améliorée par la coagulation et la floculation chimiques. L'élimination des algues est réalisée par la pré-chloration. Tous ces processus sont nécessaires dans tous les cas où les matières organiques

contenues dans l'eau brute sont en quantité importante. Les eaux des rivières et des lacs sont d'une très grande variété dans leur composition et il est impossible de décrire dans le détail tous les systèmes de traitement pour les divers cas particuliers. Le tableau 11.3. indique les systèmes les plus adaptés au cas de l'alimentation en eau des communautés villageoises.

Tableau 11.3.
Traitement de l'eau de surface

Processus de traitement Qualité de l'eau	Pré-chloration	Floculation et coagulation chimiques	Sédimentation	Filtration rapide	Filtration lente sur sable	Post-chloration (éventuellement par précaution)
Claire et non polluée						0
Légèrement polluée - faible turbidité				0	X	0
Légèrement polluée - turbidité moyenne			0	X	X	0
Légèrement polluée, haute turbidité		X	X	X	X	0
Légèrement polluée, beaucoup d'algues	X	X	X	X		X
Très polluée, peu de turbidité	X			X	X	0
Très polluée, haute turbidité	X	X	X	X		X

(X = nécessaire, 0 = optionnel)



WHO Photo by J. Hagee

Figure 11.2.

Un traitement est nécessaire pour l'eau de surface avant son utilisation pour la boisson et les besoins domestiques

Traitement de l'eau de consommation

American Water Works Association
WATER QUALITY AND TREATMENT
McGraw-Hill Book Co., New York, 1971 (3rd Edition)

Azevedo Netto, J.M.
TRATAMENTO DE AGUAS DE ABASTECIMENTO
Editora de Universidade de Sao Paulo, Sao Paulo, 1966

Cox, C.R.
OPERATION AND CONTROL OF WATER TREATMENT PROCESSES
World Health Organisation, 1964, 392 p.
(Monograph Series No. 49)

Fair, G.M.; Geyer, J.C.; Okun, D.A.
WATER AND WASTE WATER ENGINEERING (2 Volumes)
John Wiley, London, 504; 664 p.

Fair, G.M.; Geyer, J.C.; Okun, D.A.
ELEMENTS OF WATER SUPPLY AND WASTE DISPOSAL
John Wiley, London, 1972

Mann, H.T.; Williamson, D.
WATER TREATMENT AND SANITATION
Intermediate Technology Publications Ltd., London, 1968, 92 p.

MANUAL ON WATER SUPPLY AND TREATMENT
Government of India Ministry of Works & Housing (Central Public
Health Environmental Engineering Organisation)
New Delhi, 1976 (2nd Edition)

Sanks, R.C.
WATER TREATMENT PLANT DESIGN FOR THE PRACTICING ENGINEER
Ann Arbor Science, Ann Arbor, USA, 1978

Smethurst, G.
BASIC WATER TREATMENT
Thomas Telford Ltd., London, 1979

TEORIA DISEÑO CONTROL DE LOS PROCESOS DE CLARIFICACION DEL AGUA
Centro Panamericano de Ingenieria Sanitaria y Ciencias del
Ambiente, Lima, 1974 (Serie Technica 13)

VILLAGE TECHNOLOGY HANDBOOK
Volunteers in Technical Assistance
Mount Rainer, Maryland, USA, 1977

12. aeration

12.1 Introduction

L'aération est le processus de traitement par lequel l'eau est exposée intimement au contact de l'air dans le but d'une part d'augmenter sa teneur en oxygène (a), d'autre part de réduire sa teneur en dioxyde de carbone (b), et également d'éliminer l'hydrogène sulfuré, le méthane et divers composants organiques volatiles responsables de goûts et d'odeurs (c). Les traitements (a) et (c) sont toujours utiles pour l'obtention d'une eau bonne à boire. Cependant, la réduction de la teneur en dioxyde de carbone peut avoir des conséquences sur l'équilibre carbonates-bicarbonates de l'eau, des dépôts de carbonate de calcium pouvant alors être à l'origine de problèmes.

L'aération est largement utilisée dans le traitement de l'eau souterraine ayant une teneur trop élevée en fer et manganèse. Ces substances donnent un goût amer à l'eau, colorent le riz lors de sa cuisson, et provoquent des taches marron-noir sur les vêtements lors de leur lavage. L'oxygène atmosphérique apporté à l'eau par l'aération réagira sur les composants ferreux et manganésés dissous en les transformant en hydrates d'oxyde ferrique et manganique insolubles. Ces derniers peuvent alors être éliminés par sédimentation ou filtration. Il est important de noter que l'oxydation des composants du fer et de manganèse présents dans l'eau n'est pas toujours complète. Particulièrement lorsque l'eau contient des matières organiques, la formation de précipités du fer et du manganèse au cours de l'aération se produira probablement assez mal. L'oxydation chimique, une modification de l'alcalinité ou des filtres spéciaux peuvent alors être nécessaires pour l'élimination du fer et du manganèse. Ces méthodes de traitement, cependant, sont onéreuses et complexes et, pour les zones rurales des pays en voie de développement il serait préférable de chercher une autre source d'eau. Pour le traitement de l'eau de surface, l'aération n'est nécessaire que si l'eau a un fort taux de matières organiques. En général, la qualité de ce type d'eau sera médiocre et il serait probablement mieux de chercher une autre source d'eau.

Le contact de l'eau avec l'air à réaliser dans un processus d'aération peut être obtenu de manières différentes. Pour le traitement de l'eau potable, il est généralement effectué en dispersant dans l'air de l'eau amenée à l'état de fines gouttelettes ou de lames minces (aérateur du type à cascade), ou en mélangeant l'eau avec de l'air dispersé (aérateur à bulles). Dans les deux cas, la teneur en oxygène de l'eau peut atteindre 60 à 80 % de la saturation. Dans les aérateurs "à cascade", il se produit un dégazage important; dans les aérateurs à bulles, cet effet est négligeable. La réduction du dioxyde de carbone par les aérateurs à cascade est considérable, mais n'est toujours pas efficace lorsque l'on traite une eau très corrosive. Un traitement chimique à la chaux ou une filtration sur marbre ou sur dolomite calcinée pourrait alors être nécessaire.

12.2 Aérateurs à cascade

L'aérateur à plateaux multiples présenté sur la figure 12.1. est un appareil très simple, pas cher et occupant peu de place.

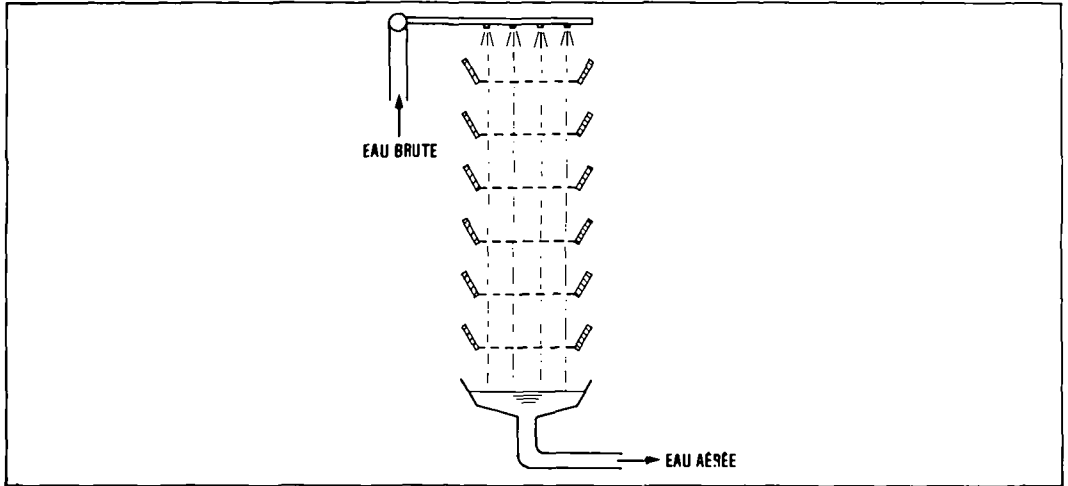


Figure 12.1.
Aérateur à plateaux multiples

Ce type d'aérateur comporte 4 à 8 plateaux perforés de trous espacés de 30 à 50 cm. Un tuyau distributeur perforé répartit l'eau sur le plateau supérieur. Celle-ci ruisselle avec un débit de 20 litres par seconde et par m² de surface de ce plateau. Les gouttelettes sont dispersées, puis réunies à chaque plateau inférieur. Les plateaux peuvent être fabriqués avec n'importe quels matériaux convenables, tels que des plaques de fibrociment percées de trous, des tuyaux en plastique de petit diamètre ou des lattes de bois parallèles (figure 12.2.). Pour une plus fine dispersion de l'eau, les plateaux de l'aérateur peuvent être remplis de gros graviers sur une hauteur d'environ 10 cm. Parfois on utilise une couche de coke qui fera office de catalyseur et favorisera la précipitation du fer de l'eau. On trouvera sur la figure 12.3. une unité de traitement manuel par aération-filtration pour une eau ayant une forte teneur en fer et en manganèse.

Un autre type d'aérateurs du même genre est l'aérateur à cascade (figure 12.4.). Cet aérateur comporte essentiellement une cascade de 4 à 6 marches, chacune d'environ 30 cm de haut avec un débit d'environ 10 litres par seconde et par mètre de largeur. Afin de produire une turbulence et de permettre ainsi une aération plus efficace, des obstacles sont souvent installés à l'extrémité de chaque marche. Comparés aux aérateurs à plateaux, les aérateurs à cascade demandent davantage de place.

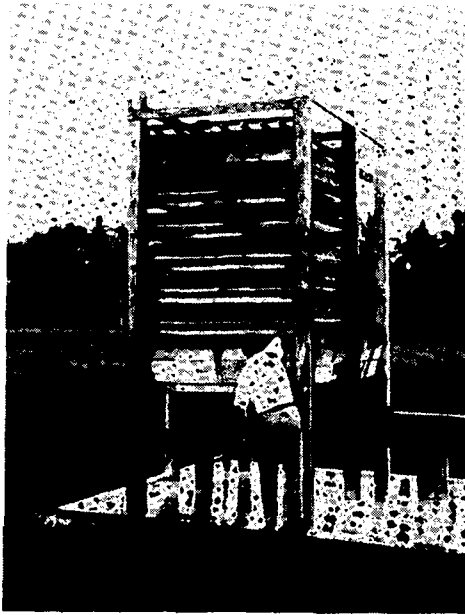


Figure 12.2.
Installation d'aération

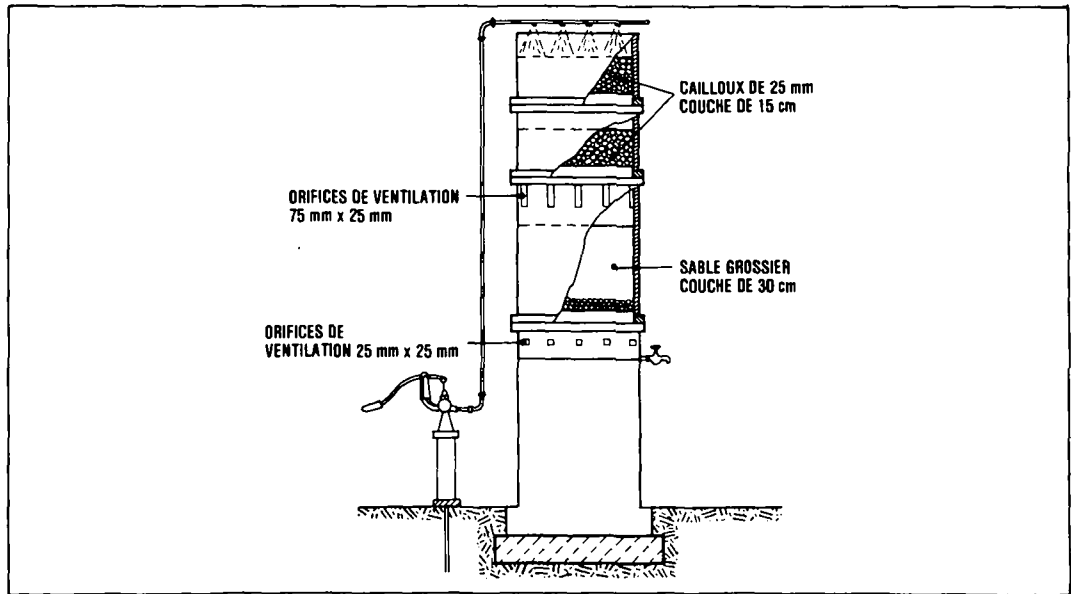


Figure 12.3.
Unité manuelle d'aération-filtration

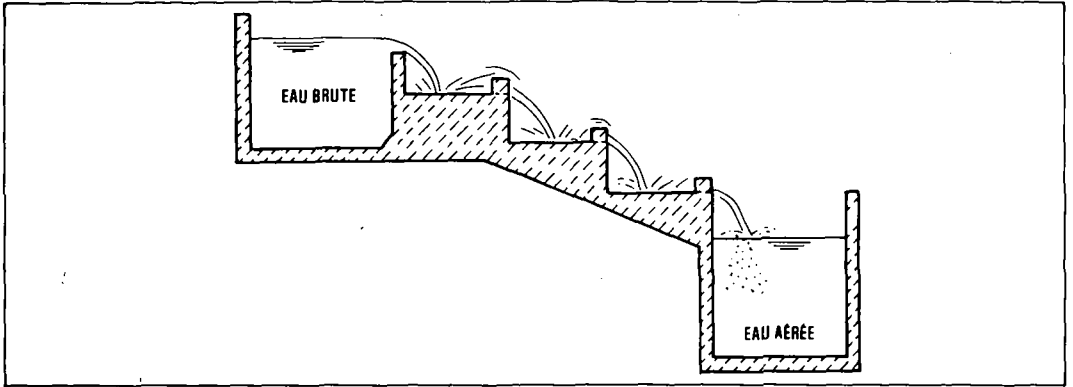


Figure 12.4.
Aérateur à cascade

Un aérateur à plates-formes multiples utilise les mêmes principes. Les lames sont organisées pour réaliser au cours de leur chute le meilleur contact possible avec l'eau (figure 12.5.).

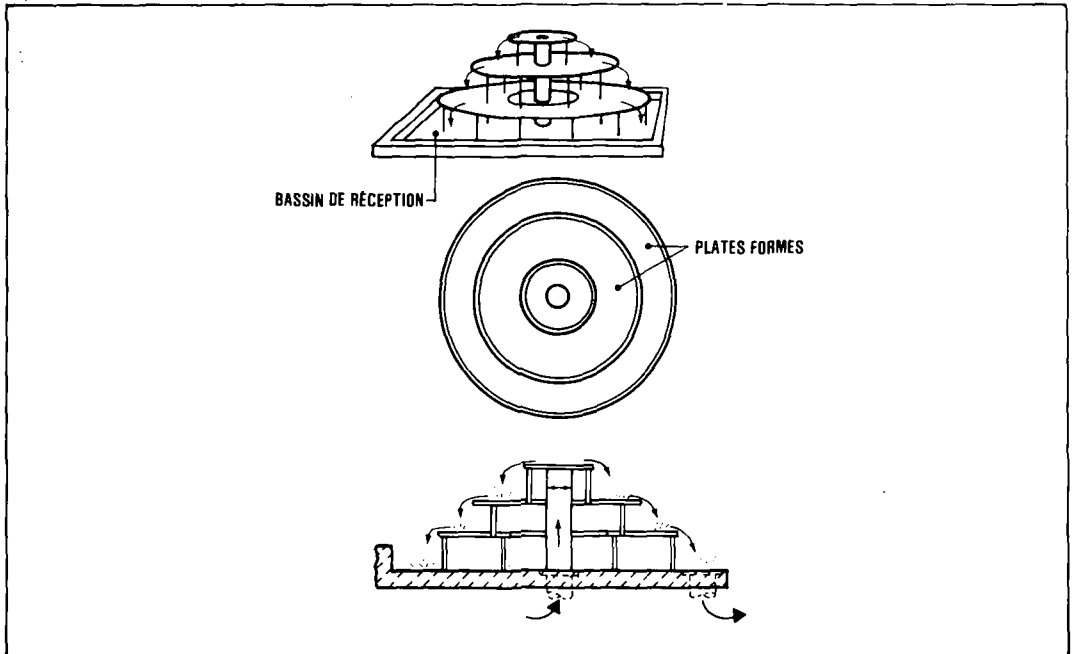


Figure 12.5.
Aérateur à plates-formes multiples

Les aérateurs par aspersion sont formés d'asperseurs fixes, alimentés par une canalisation, qui pulvérisent l'eau dans l'air environnant, à des vitesses de 5 à 7 m/sec.

Un aérateur par aspersion très simple est présenté sur la figure 12.6.; l'eau s'écoule de haut en bas à travers de petits morceaux de tuyau, de quelque 25 cm de longueur, avec un diamètre de 15 à 30 mm. Un disque circulaire est placé à quelques centimètres de l'extrémité de chaque tuyau; ainsi se constituent des pellicules d'eau minces et circulaires qui se dispersent ensuite en une pulvérisation très légère de gouttelettes d'eau.



Figure 12.6.
Aérateur par aspersion

Un autre type d'aérateur par aspersion utilise des asperseurs reliés à des tuyaux d'alimentation, et pulvérisent l'eau de bas en haut (figure 12.7.). Les aérateurs à aspersion sont en général situés au-dessus d'un bassin de sédimentation ou de filtres, pour gagner de la place en évitant d'avoir un bassin séparé pour la collecte de l'eau aérée.

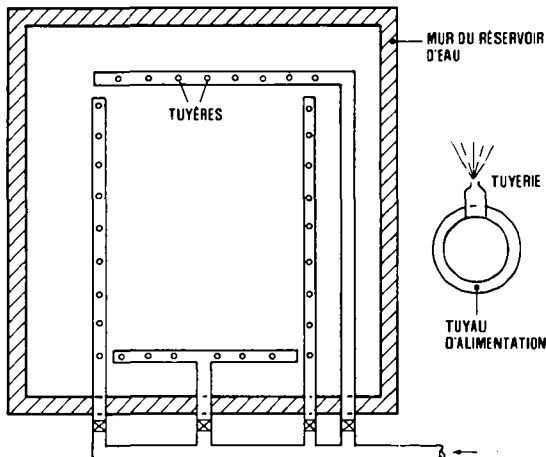


Figure 12.7.
Aérateur par aspersion à tuyères

Pour empêcher le colmatage, les ouvertures des asperseurs devront être assez larges, plus de 5 mm mais, en même temps, l'eau doit pouvoir être pulvérisée en fines gouttelettes. De nombreux systèmes ont été conçus pour satisfaire ces exigences. Un aérateur par aspersion simple avec déflecteur est présenté sur la figure 12.8, et la figure 12.9. montre plusieurs exemples d'asperseurs spécialement conçus.

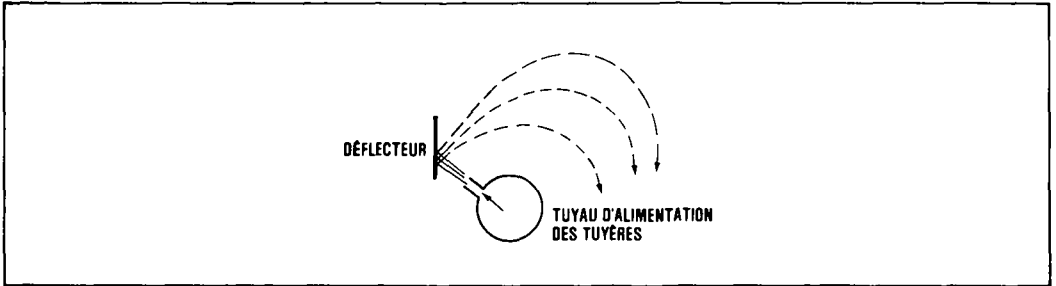


Figure 12.8.
Aérateur par aspersion simple utilisant un déflecteur

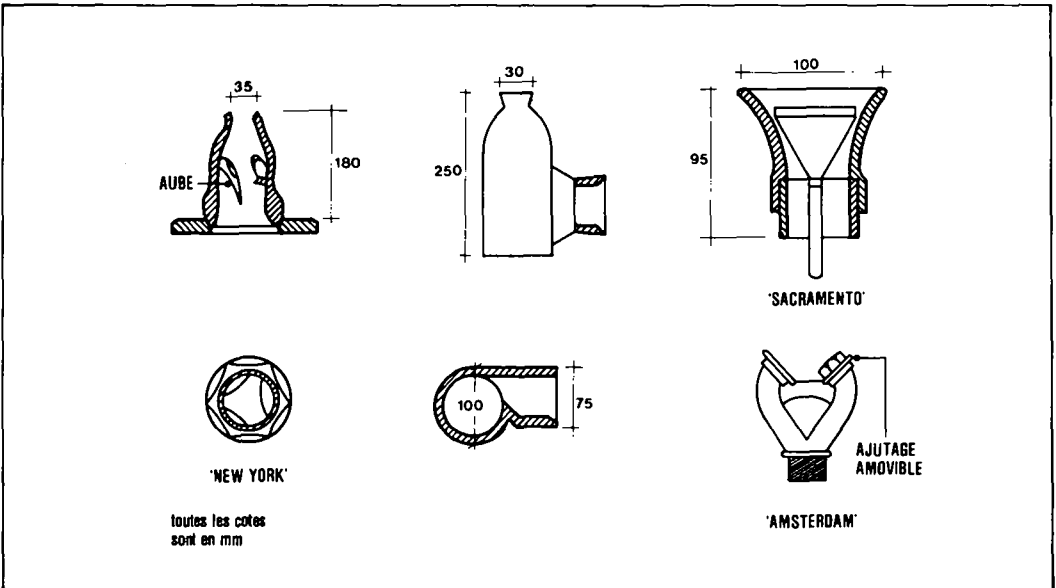


Figure 12.9.
Asperseurs pour aérateurs par aspersion

12.3 Aérateurs à bulles

La quantité d'air nécessaire pour l'aération par bulles est très faible, pas plus de 0,3 à 0,5 m³ d'air par m³ d'eau, ce qui peut être facilement obtenu par aspiration de l'air. Ceci se voit très bien avec l'aérateur venturi de la figure 12.10. L'aérateur est établi à un niveau supérieur à celui de la conduite d'amenée d'eau brute. Dans le rétrécissement du venturi, la vitesse de l'eau est suffisamment élevée pour que la pression correspondante tombe en-dessous de la pression atmosphérique. Ainsi l'air est aspiré dans l'eau. Au-delà du rétrécissement du venturi, l'eau s'écoule à travers une section de tuyau plus large et sa vitesse diminue en même temps que sa pression augmente. Les fines bulles d'air sont intimement mêlées à l'eau. L'oxygène de ces bulles d'air est absorbé par l'eau. La libération du dioxyde de carbone est négligeable dans ce type d'aérateur, car le volume d'air dans les bulles est très faible. Comparés aux aérateurs par aspersion, les aérateurs venturi occupent peu de place et la perte de charge globale est la même sensiblement.

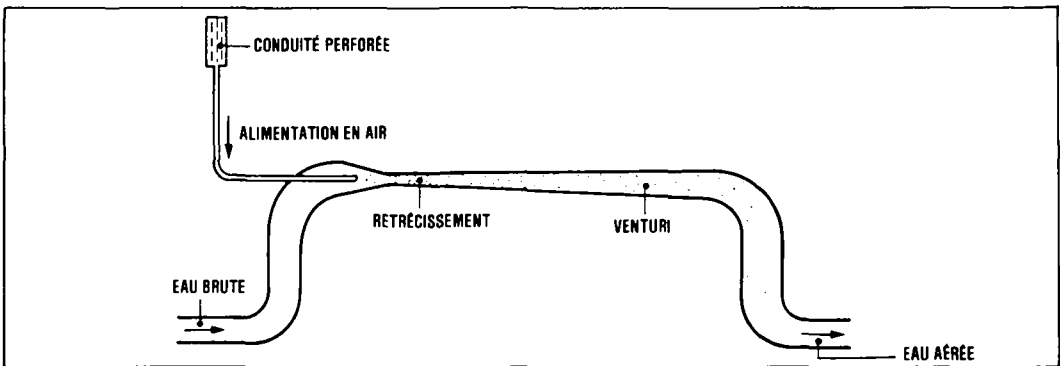


Figure 12.10.
Aérateur venturi

L'aérateur par cascade submergée de la figure 12.11. fonctionne en captant l'air par les lames d'eau qui tombent; cet air est entraîné en profondeur dans les bassin de collecte. L'oxygène est alors transféré des bulles d'air dans l'eau. La chute totale est d'environ 1,5 m. divisée en 3 à 5 marches. La capacité d'aération est de 5 à 50 litres par seconde et par mètre de largeur de la cascade.

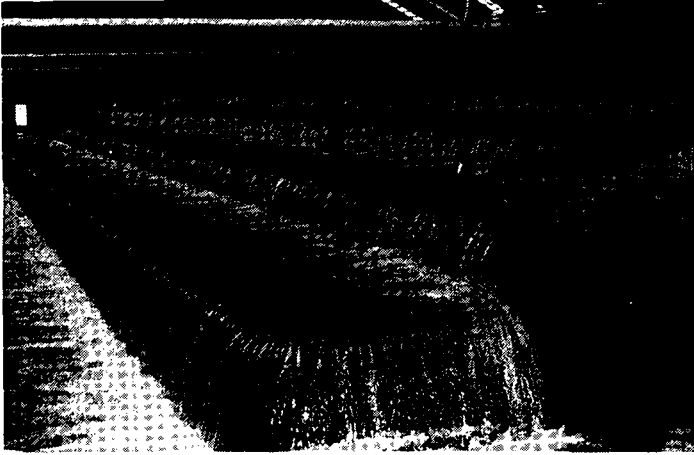


Figure 12.11.
Aérateur par cascade submergée

Aération

American Water Works Association : Committee on Aeration
AERATION OF WATER

In : Journal Am. Water Works Assoc. Vol. 47 (1975) No. 5, pp. 873-893

Azevedo Netto, J.M.

TRATAMIENTO DE AGUAS DE ABASTECIMIENTO

Editora de Universidade de Sao Paulo, Sao Paulo, 1966

CURSO SOBRE TECNOLOGIA DE TRATAMIENTO DE AGUA PARA PAISES ON DESAROLLO
CEPIS, Lima, 1977

Fair, G.M.; Geyer, J.C.; Okun, D.A.

WATER AND WASTEWATER ENGINEERING

Vol. 2, Water Purification and Wastewater Treatment and Disposal

John Wiley & Sons, New York, 1968

Haney, P.D.

THEORETICAL PRINCIPLES OF AERATION

In : Journal Am. Water Works Assoc., Vol. 24 (1932) No. 62

Langelier, S.

THE THEORY AND PRACTICE OF AERATION

Journal Am. Waterworks Assoc. Vol. 24 (1932) No. 62

13. coagulation et floculation

13.1 Introduction

La coagulation et la floculation constituent un traitement de l'eau qui permet d'agglomérer les matières à l'état de suspensions fines ou de colloïdes pour former des floccs. Cela permet leur élimination par sédimentation ou filtration. Les particules colloïdales (colloïdes) se situent, pour ce qui concerne leur taille (de 5×10^{-6} à 2×10^{-4} mm), entre les matières dissoutes et les matières en suspension. Les colloïdes sont maintenus en suspension grâce à des phénomènes de répulsion électrostatique et d'hydratation. Il y a répulsion électrostatique parce que chaque particule du colloïde porte habituellement autour d'elle une double couche d'ions. Ainsi le colloïde porte une charge électrique, la plupart du temps négative. L'hydratation résulte de la réaction qui se produit à la surface des particules avec l'eau environnante. L'agglomérat particule - eau qui en résulte possède un poids spécifique très voisin de celui de l'eau elle-même.

Les substances à éliminer par coagulation et floculation sont souvent celles qui sont à l'origine de la turbidité et de la coloration de l'eau. Les eaux de surface dans les régions tropicales sont souvent troubles et colorées. La turbidité peut résulter de l'érosion du sol, des croissances algales ou de débris animaux amenés par le ruissellement superficiel. La couleur peut être communiquée par le lessivage de substances contenues dans des matières organiques des feuilles ou des sols, comme la tourbe. Les particules colloïdales sont la plupart du temps à la fois troubles et colorées.

La répulsion qui s'exerce entre les particules colloïdales annule en fait les forces d'attraction de masse (forces de Van der Waal's) qui tendraient à agglomérer les particules. Certaines substances chimiques, dites agents coagulants ou coagulants, ont le pouvoir de comprimer la double couche des ions qui existe autour de chaque particule colloïdale. Elles neutralisent la répulsion électrostatique et permettent la floculation des particules, c'est-à-dire la formation de floccs. Ces floccs peuvent devenir suffisamment gros, avec un poids spécifique tel qu'ils peuvent être éliminés par sédimentation ou filtration.

Généralement, les traitements d'eau qui impliquent le recours à des produits chimiques ne conviennent pas pour l'alimentation de petites collectivités. Ils sont à éviter chaque fois qu'il est possible. La coagulation chimique et la floculation ne sont à utiliser que lorsque le résultat cherché ne peut être atteint en recourant à un autre procédé n'utilisant pas de produits chimiques. Si la turbidité et la couleur de l'eau brute ne sont pas de beaucoup supérieures à ce qui est admis pour l'eau potable, on pourra éviter un traitement recourant à la coagulation chimique. La filtration lente sur sable permettra, par exemple, en une seule opération, de réduire la turbidité et la coloration tout en améliorant les autres éléments caractéristiques de la qualité de l'eau. Si nécessaire, un filtre de dégrossissage pourra réduire la turbidité de l'eau qui est envoyée sur la filtration lente sur sable.

13.2 Coagulants

La sulfate d'alumine (alun: $Al_2(SO_4)_3 \cdot nH_2O$) est de loin le coagulant le plus utilisé, mais les sels de fer (par exemple le chlorure ferrique $FeCl_3$) peuvent aussi bien être utilisés, parfois plus avantageusement. L'intérêt non négligeable des sels de fer sur les sels d'aluminium consiste dans le fait qu'une bonne coagulation se produit dans une plus grande fourchette de pH. Ainsi, pour le traitement d'eaux légèrement teintées, la décoloration est facilitée par un pH bas et les sels de fer sont alors les meilleurs coagulants. Ils agiront aussi à pH élevé car l'hydroxyde de fer est très insoluble, contrairement aux sels d'aluminium qui donnent des ions aluminates solubles aux pH élevés. L'aluminate de soude est surtout utilisé pour la coagulation à pH moyen. On dispose actuellement de polyélectrolytes de synthèse mais ces coagulants ne sont en général pas économiques pour de petites collectivités et ne sont pas facilement disponibles. Les coagulants tels que les sels solubles de fer et d'aluminium réagissent avec l'alcalinité de l'eau et s'hydrolysent. Par exemple l'alun forme un floc d'hydroxyde d'alumine $Al(OH)_3$, précipité gélatineux. L'alcalinité nécessaire peut exister naturellement dans l'eau ou peut être ajoutée sous forme de chaux $Ca(OH)_2$, ou de carbonate de soude, Na_2CO_3 dit aussi cendre de soude.

Pour obtenir une bonne coagulation, la dose optimale de produit doit être versée dans l'eau et soigneusement mélangée. Cette dose optimale dépend de la nature de l'eau brute et de la composition de l'ensemble sans qu'il soit possible de la préjuger pour une eau brute déterminée. Il convient de disposer d'un équipement spécial de laboratoire dit le "jar test" pour déterminer périodiquement la dose optimale :

Une série d'échantillons d'eau sont placés sur un agitateur spécial multiple et on ajoute aux échantillons différentes doses de coagulant, par exemple 10, 20, 30, 40 et 50 mg/l. On agite vigoureusement pendant une minute environ, puis on agite doucement pendant 10 minutes. On laisse reposer et sédimenter de 30 minutes à une heure et on examine la turbidité et la couleur. On note quel est le dosage le plus faible qui donne satisfaction.

Un second test implique la préparation d'échantillons à différents pH, par exemple 5,6,7,8. On ajoute dans chaque béccher la dose de coagulant précédemment déterminée. Puis agitation, repos et floculation comme précédemment. On examine alors les échantillons pour déterminer le pH optimal. On peut éventuellement s'assurer à nouveau de la valeur de la dose optimale.

Comme on l'a indiqué plus haut, les sels d'aluminium et les sels de fer présentent des différences considérables quant à la zone de pH qui procure une bonne coagulation.

Pour l'aluminium, la zone de pH pour une bonne coagulation est faible (entre 6,5 et 7,5).

La zone correspondante pour le chlorure ferrique est considérablement plus étendue, la fourchette, pour le pH étant d'environ 5,5 à 9,0 (figure 13.1.). La courbe figurée est caractéristique de celle qu'on obtient lors de la réalisation d'un jar test.

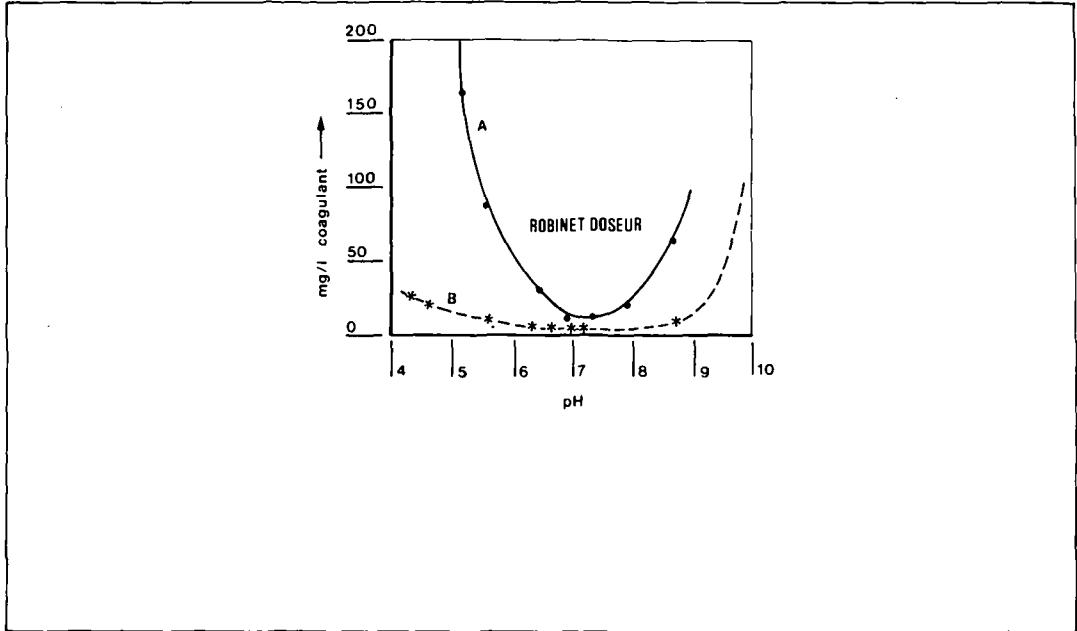


Figure 13.1.
Relation entre le pH et les coagulations

Le sulfate d'alumine ou le sulfate ferrique sont habituellement utilisés en solution. La solution (en général de 3 à 7 %) est préparée dans des récipients spéciaux permettant de stocker les quantités nécessaires pour 10 heures au moins. Il faut avoir deux cuves; l'une est en exploitation et on prépare la solution dans l'autre. Lorsqu'on utilise un sel d'aluminium on doit se souvenir qu'avec une solution à moins de 1 % le produit est hydrolysé (c'est-à-dire qu'il s'agglomère avec l'eau dans laquelle on le mélange) avant qu'on l'introduise dans l'eau brute à traiter. Pour éviter cela, la solution doit toujours être supérieure à 1 %.

On peut utiliser divers dispositifs pour l'alimentation en produits chimiques. On en trouvera un exemple sur la figure 13.2.

Le moyen le plus simple d'employer la chaux est de l'utiliser en suspension à partir d'une cuve spéciale (dite "saturateur à chaux") pour obtenir une solution d'hydroxyde de calcium. La taille de la cuve est fonction du dosage en chaux à obtenir.

On trouvera dans l'annexe 4 davantage d'informations sur les produits chimiques utilisés pour le traitement de l'eau.

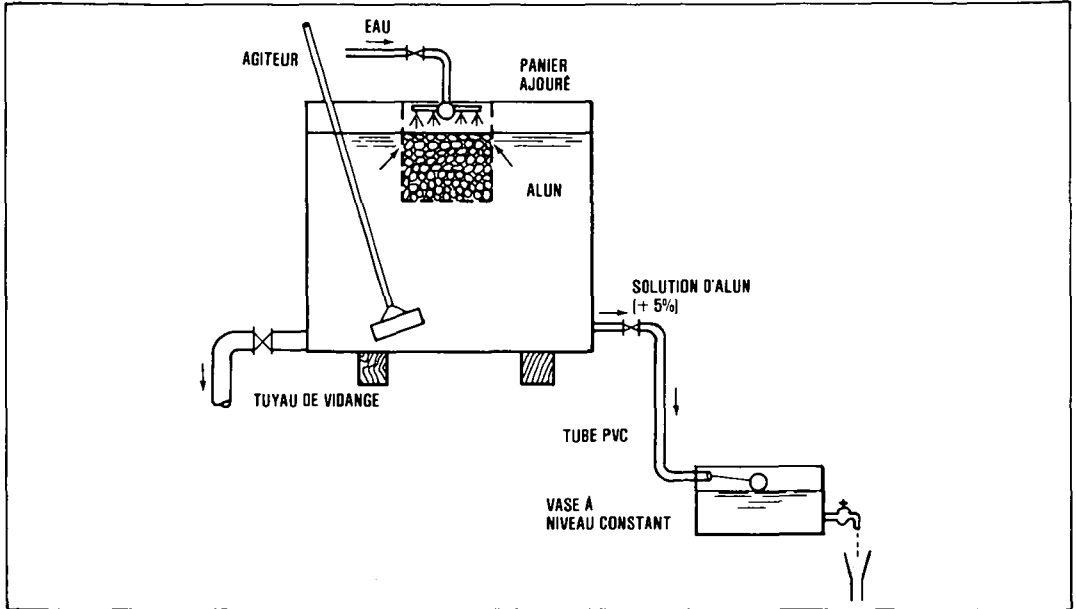


Figure 13.2.
Dispositif d'alimentation en produit de coagulation (alun)

13.3 Mélange rapide

Le mélange rapide vise à réaliser une dispersion immédiate de la totalité des produits chimiques dans la masse d'eau brute. Pour y arriver, on doit agiter l'eau violemment et injecter le produit dans la zone la plus turbulente, afin d'assurer une dispersion rapide et uniforme.

Le mélange doit être rapide car l'hydrolyse du coagulant est presque instantanée (quelques secondes). La destabilisation des colloïdes ne prend aussi que très peu de temps.

Le dispositif de mélange rapide devra être établi près de l'endroit où l'on prépare les solutions de produits chimiques. Les tuyaux d'alimentation seront alors courts. Il est aussi souhaitable de disposer le dispositif de mélange rapide tout près des flocculateurs. Il est parfois aussi difficile de combiner ces deux exigences lors de l'établissement du plan d'une station de traitement.

Il y a beaucoup de dispositifs qui permettent d'assurer un mélange rapide des produits chimiques dans l'eau; il existe deux méthodes essentielles :

- mélange rapide hydraulique
- mélange rapide mécanique.

Mélange rapide hydraulique

On utilise des dispositifs tels que canaux, chambres à chicanes qui établissent des conditions de turbulence, déversoirs, ressauts hydrauliques (figure 13.3., 13.4., 13.5.). Un mélange rapide peut aussi s'obtenir en introduisant les produits chimiques à l'orifice d'aspiration d'une pompe. Moyennant une bonne conception, un mélange par voie hydraulique peut être aussi efficace qu'un mélange par voie mécanique.

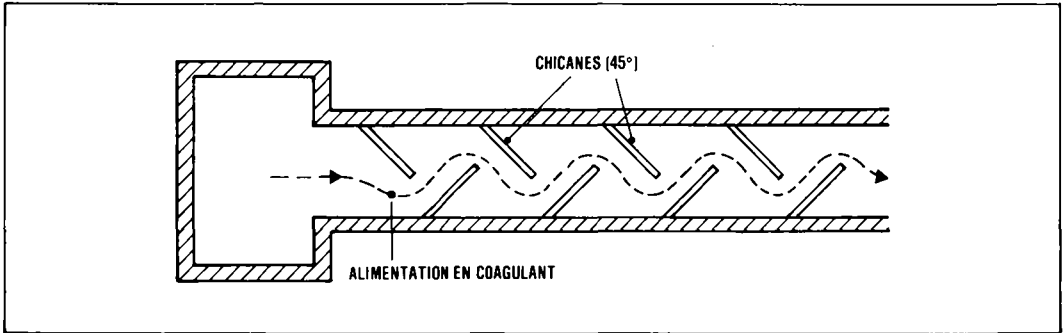


Figure 13.3.
Canal à chicanes pour mélange rapide

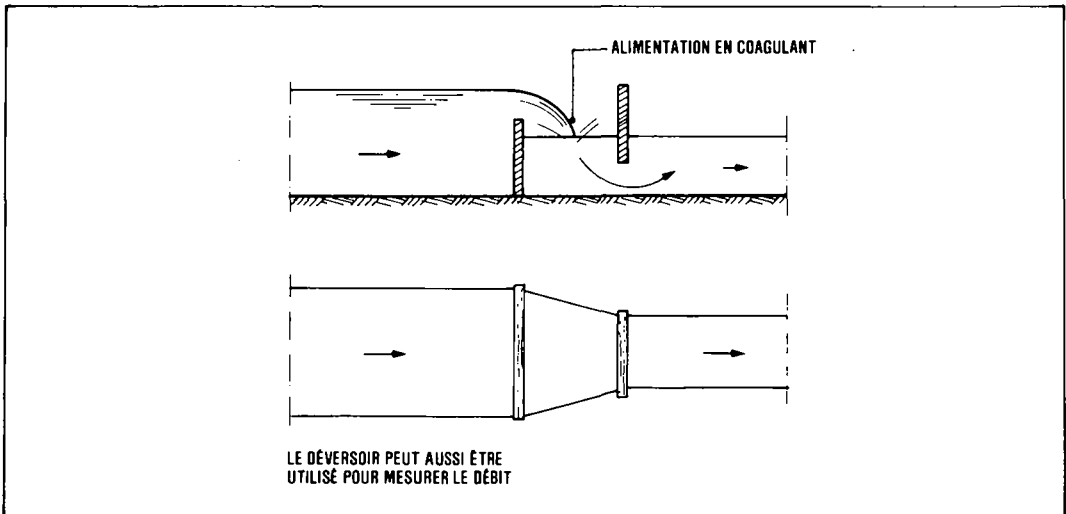


Figure 13.4.
Déversoir

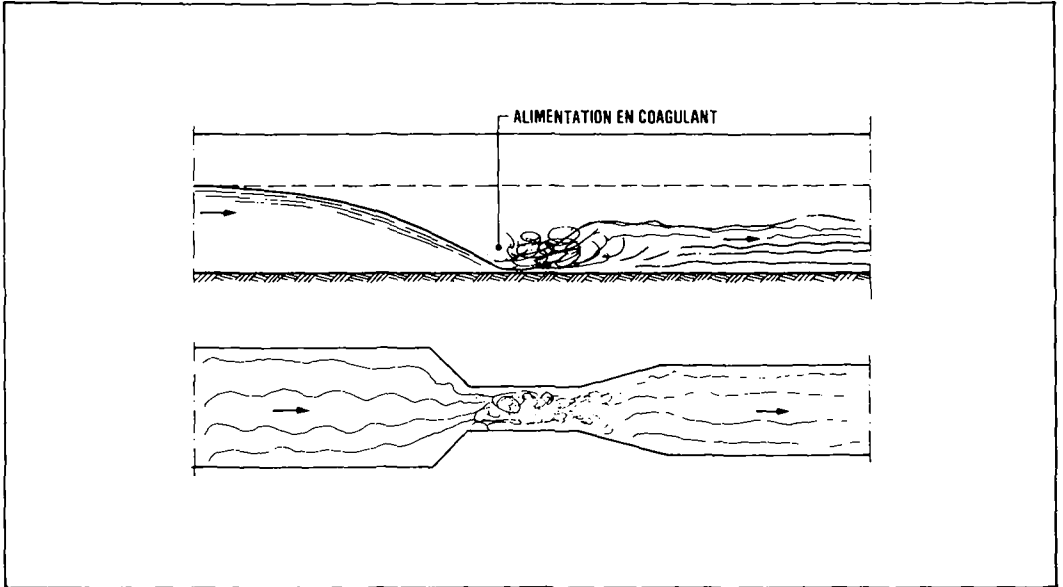


Figure 13.5.
Ressaut hydraulique



IRC Photo

Figure 13.6.
Ressaut hydraulique pour mélange rapide (Philippines)

Mélange rapide mécanique

Pour le mélange rapide par voie mécanique, la puissance nécessaire à l'agitation de l'eau est fournie par des roues, des hélices, des turbines ("mélangeurs rapides", "mélangeurs éclairs", "turbo mélangeurs"). Voir figure 13.7.

Généralement, pour de petites stations de traitement, on préférera les mélangeurs hydrauliques aux mélangeurs mécaniques car ces derniers doivent être assurés d'une alimentation permanente en force motrice.

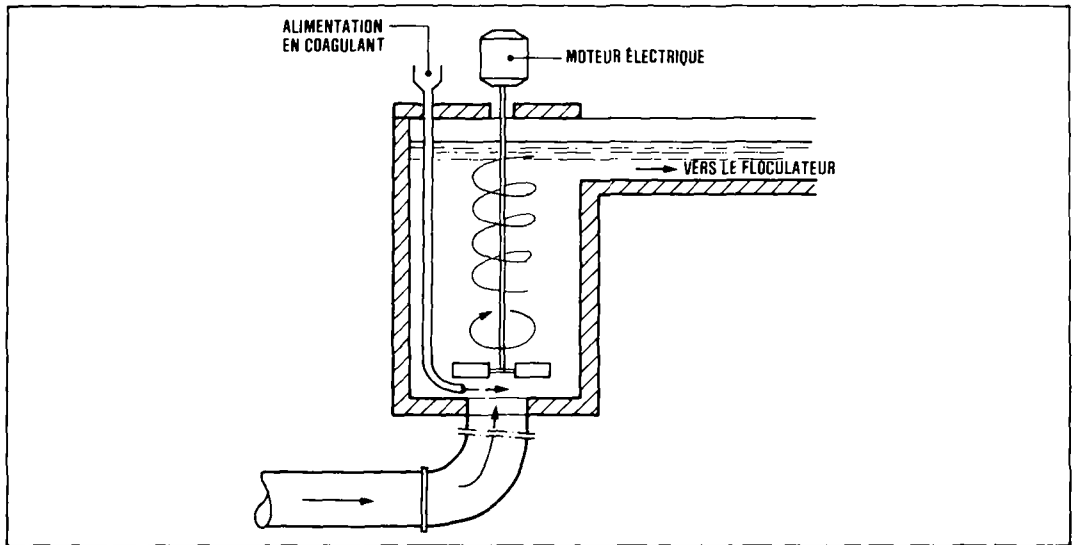


Figure 13.7.
Mélangeur mécanique

13.4 Floculation

La floculation comporte une agitation douce et continue de l'eau coagulée en vue de former des floccs grâce à l'agglomération des petites particules présentes dans l'eau. On conditionne ainsi l'eau en vue de la formation de floccs qui seront aisément éliminés par sédimentation ou filtration.

L'efficacité de la floculation est en grande partie déterminée par le nombre de collisions par unité de temps entre les petites particules coagulées.

Dans les flocculateurs mécaniques l'agitation de l'eau est réalisée par des dispositifs tels que des aubes, des roues à pales, des rateaux.

Ces dispositifs peuvent être fixés sur un axe, vertical ou horizontal. Les flocculateurs à axe vertical sont habituellement placés dans une cuve carrée avec plusieurs chambres

(4 ou davantage); avec des flocculateurs à axe horizontal ayant un flux transversal, on peut disposer au moins 4 rangées d'arbres avec des chicanes de répartition pour éviter les courts circuits.

Dans les flocculateurs hydrauliques, de petits dispositifs hydrauliques provoquent l'agitation du courant d'eau qui les traverse. On citera les canaux à chicanes, les flocculateurs à chambres placées en série (par exemple le flocculateur "Alabama") et les flocculateurs à lit de graviers.

Les principaux inconvénients des flocculateurs hydrauliques sont :

- l'impossibilité d'adapter l'installation en fonction des modifications de la qualité de l'eau brute
- l'impossibilité de réglage en fonction du débit de la station de traitement
- l'importance que présente souvent la perte de charge
- la difficulté que peut présenter le nettoyage des appareils.

Conception des flocculateurs

On doit tenir compte dans la conception d'un flocculateur, non seulement du gradient de vitesse (G) mais aussi du temps de séjour (t). Le produit G x t fournit une mesure au nombre de collisions entre les particules et donc de la formation du floc.

On calculera le gradient de vitesse par la formule

$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu V}} \quad \text{dans laquelle}$$

G = gradient de vitesse (sec^{-1})

P = puissance transmise à l'eau (Kilowatts)

V = volume d'eau auquel est fourni la puissance; si cela a un sens, volume du bassin de mélange (m^3)

μ = viscosité cinématique de l'eau (m^2 par seconde)

soit $1,14 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{sec.}$ pour une température de l'eau de 15° C

$1,01 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{sec.}$ à 20°

$0,90 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{sec.}$ à 25°

Tableau 13.1.
Critères pour la conception d'un flocculateur

Elément de conception d'un flocculateur	G (sec^{-1})	t (sec)	G.t
Fourchette	10 à 100	1.200 à 1.800	30.000 à 150.000
Valeur type	45 à 90	1.800	50.000 à 100.000

On choisira soigneusement pour chaque flocculateur la valeur optimale de G x t; on la prendra aussi élevée que possible, dans la mesure où elle est compatible avec la formation

optimale du floc sans pour autant entraîner la casse et la désintégration des floccs formés. La cohésion interne des floccs peut être améliorée par des produits chimiques tels que de la silice activée ou des polyélectrolytes (adjuvants de floculation).

13.5 Floculateurs hydrauliques

Floculateurs à canaux munis de chicanes

Pour les canaux de floculation à chicanes avec flux horizontal, la vitesse admise se situe généralement entre 0,10 et 0,30 m/sec. Le temps de séjour est habituellement de 15 à 20 minutes.

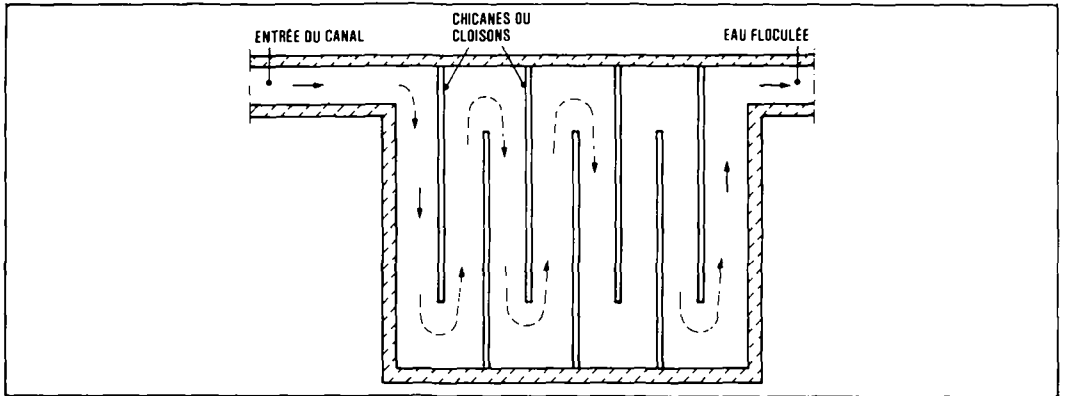


Figure 13.8.
Floculateur à canal muni de chicanes avec écoulement horizontal (Plan)

Ce type de floculateur convient bien pour de très petites stations de traitement. Son efficacité dépend cependant beaucoup de la profondeur de l'eau dans le canal.

Pour les installations moyennes ou plus importantes, on utilise surtout des floculateurs à écoulement vertical à travers des chambres successives. La vitesse se situe entre 0,1 à 0,2 m/sec. Le temps de séjour est de 10 à 20 minutes. Il faut avoir un dispositif de nettoyage compte tenu des dépôts qui se produisent.

Floculateurs type Alabama

Les floculateurs du type Alabama sont des floculateurs hydrauliques comportant des chambres en série à travers lesquelles l'eau s'écoule dans deux directions (figure 13.10.).

L'eau s'écoule d'une chambre à l'autre à partir d'un orifice placé au fond de la première, l'entrée dans la seconde se faisant verticalement de bas en haut. Ce type de floculateur conçu et mis en service dans l'Etat d'Alabama (USA) a été introduit par la suite en Amérique Latine.

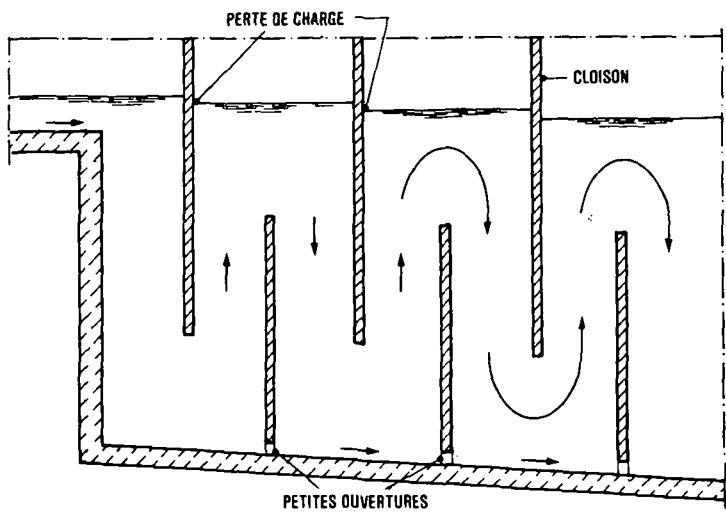


Figure 13.9.
Floculateur vertical à chambres en série (coupe)

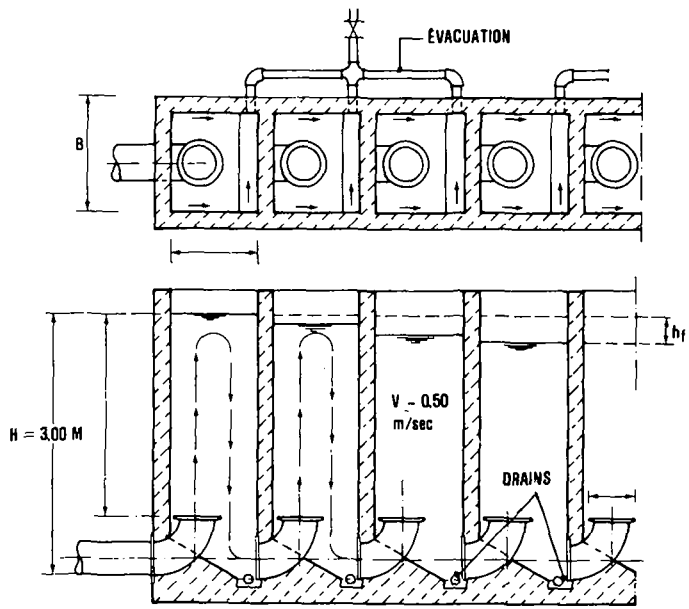


Figure 13.10.
Floculateur type Alabama

Pour obtenir dans chaque chambre une floculation efficace, les orifices d'entrée doivent être établis à environ 2,50 m. en dessous du niveau de l'eau.

Eléments caractéristiques de l'installation

Débit normal de chaque chambre	25 à 50 l/sec/m ²
Vitesse dans les virages	0,40 à 0,60 m/sec.
Longueur de chaque chambre (L)	0,75 à 1,50 m
Largeur de chaque chambre (B)	0,50 à 1,25 m
Profondeur (H)	2,50 à 3,50 m
Temps de séjour	15 à 25 minutes

La perte de charge dans ce type de flocculateur est habituellement de 0,35 à 0,50 m pour l'ensemble de l'installation. Le gradient de vitesse est habituellement dans la fourchette 40-50 sec.⁻¹.

Le tableau 13.2. constitue un guide pratique pour la conception d'un flocculateur Alabama.

Tableau 13.2.
Guide pour la conception d'un flocculateur "Alabama"

Débit Q l/sec.	Largeur B (m)	Longueur L (m)	Diamètre D (mm)	Pour chaque chambre	
				Surface (m ²)	Volume (m ³)
10	0,60	0,60	150	0,35	1,1
20	0,60	0,75	250	0,45	1,3
30	0,70	0,85	300	0,6	1,8
40	0,80	1,00	350	0,8	2,4
50	0,90	1,10	350	1,0	3,0
60	1,00	1,20	400	1,2	3,6
70	1,05	1,35	450	1,4	4,2
80	1,15	1,40	450	1,6	4,8
90	1,20	1,50	500	1,8	5,4
100	1,25	1,60	500	2,0	6,0

Exemple :

Débit $Q = 1,2 \text{ m}^3$ par minute, soit 20 l par seconde

Temps de séjour 15 minutes

Diamètre de la conduite recourbée 250 mm (10")

Dimensions de chaque chambre (0,60 x 0,75 m²)

Volume de chaque chambre 1,3 m³

Volume total nécessaire 15 x 1,2 = 18 m³

Nombre de chambres $\frac{18}{1,3} = 14$

Mélangeur hydraulique à tuyère et flocculateur

Dans un flocculateur à tuyère, le coagulant (alun) est injecté dans l'eau brute en utilisant un ajutage spécial.

L'eau est ensuite injectée dans un dispositif cylindro-conique placé au-dessus de la buse d'injection. Il en résulte une agitation douce de l'eau permettant la formation d'un floc; une partie des floccs formés est recyclée (figure 13.11.). Grâce à la combinaison de ces deux actions, on peut obtenir une excellente floculation.

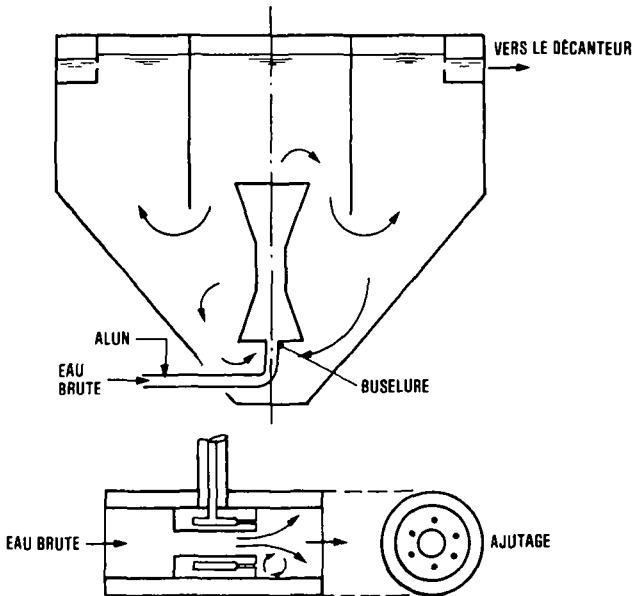


Figure 13.11.
Flocculateur hydraulique à tuyère

Coagulation et floculation

Arboleda, J.
TEORIA, DISEÑO Y CONTROL DE LOS PROCESOS DE CLARIFICACION DEL AGUA
Centro Panamericano de Ingenieria Sanitaria y Ciencias del Ambiente
Lima, 1977

A.W.W.A.
WATER TREATMENT PLANT DESIGN
Am. Water Works Assoc., New York, 1969

Azevedo Netto, J.M. et al
TECNICA DE ABASTECIMENTO E TRATAMENTO DE AGUA
Vol. 2 (2nd Edition), CETESB, Sao Paulo, 1977

Camp, T.R.
FLOCCULATION AND FLOCCULATION BASINS
Trans Am. Soc. Civil Engineers, 1955, 120, pp. 1-16

Cox, C.R.
OPERATION AND CONTROL OF WATER TREATMENT PROCESSES
World Health Organisation, Geneva, 1964

Fair, G.M.; Geyer, J.C.; Okun, D.A.
WATER AND WASTEWATER ENGINEERING
Vol. 2; Water Purification and Wastewater Treatment and Disposal
John Wiley & Sons, New York, 1968

Gomella, C.; Guerrée, H.
LE TRAITEMENT DES EAUX DE DISTRIBUTION
Editions Eyrolles, Paris, 1973

Hudson, H.E.; Wolfner, J.P.
DESIGN OF MIXING AND FLOCCULATING BASINS
In : Journal Am. Water Works Assoc. Vol. 59 (1967) No. 10, pp. 1257-1267

O'Melia, C.R.
A REVIEW OF THE COAGULANT PROCESS
In : Journal of Public Works, No. 3, 1969

Singley, J.E.
STATE-OF-THE ART OF COAGULATION
PAHO Symposium on Modern Water Treatment Methods
Asuncion (Paraguay), August, 1972

Singley, J.E.; Maulding, J.S.; Harris, H.R.
FERRIC SULFATE AS A COAGULANT
Coagulation Symposium, Part III
In : Water Works and Wastes Engineering, Vol. 52 (1965) No. 2

Stumm, W.; Morgan, J.J.
CHEMICAL ASPECTS OF COAGULATION
In : Journal Am. Water Works Assoc. Vol. 63 (1971) No. 8, pp. 971-994

Vralé, L.; Jordan, R.M.
RAPID-MIXING IN WATER TREATMENT
In : Journal Am. Water Works Assoc. Vol. 63 (1971) No. 8, : 52-63

14. sedimentation

14.1 Introduction

La sédimentation réalise la décantation et l'élimination des matières en suspension en maintenant l'eau en repos ou en la faisant s'écouler lentement à travers un bassin. Du fait de la lenteur de l'écoulement, la turbulence sera nulle ou négligeable, et les particules ayant une densité (poids spécifique) plus élevée que celle de l'eau pourront décanter. Ces particules se déposeront sur le fond du bassin où elles formeront une couche de boues. A la sortie du bassin l'eau sera claire.

La sédimentation se produit dans n'importe quel bassin. Les bassins réservoirs à travers lesquels l'eau s'écoule très lentement sont particulièrement efficaces, mais il n'est pas toujours possible d'en installer. Dans les stations de traitement d'eau, des décanteurs conçus spécialement pour assurer la sédimentation sont très largement utilisés. La conception la plus commune est celle dans laquelle l'eau s'écoule horizontalement à travers le décanteur mais il existe également des installations mettant en oeuvre des circulations verticales (1) ou radiales. Pour les petites stations de traitement, les décanteurs rectangulaires à flux horizontal sont en général à la fois simples à construire et bien adaptés.

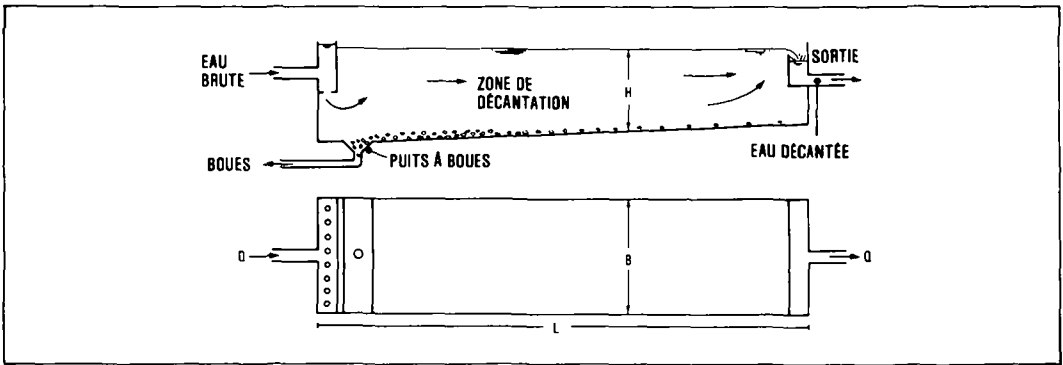


Figure 14.1.
Décanteur rectangulaire à flux horizontal

L'efficacité du processus de décantation sera très réduite s'il y a dans le décanteur des turbulences ou des circulations préférentielles. Pour l'éviter, l'eau brute devra entrer dans le décanteur par un dispositif unique et être répartie uniformément sur toute la largeur et

(1) Les sujétions de fonctionnement des décanteurs cylindro-coniques sont telles qu'ils ne sont pas conseillés pour les petites stations de traitement.

la profondeur du décanteur. De même, à l'aval du décanteur, un dispositif de sortie doit être établi pour reprendre l'eau clarifiée, également de façon uniforme. Les produits décantés formeront une couche de boues au fond du décanteur. Les décanteurs doivent être régulièrement nettoyés. Divers moyens peuvent être mis en oeuvre pour évacuer les boues. Un nettoyage manuel (par exemple par raclage) nécessite un vidange préalable de l'appareil.

14.2 Conception d'un bassin de décantation

L'efficacité d'un décanteur vis à vis de l'élimination des particules en suspension peut être déterminée en partant de la vitesse de décantation (s_0) d'une particule qui, pour un temps de rétention (T), parcourra toute la hauteur (H) du décanteur. Utilisant ces notations (cf. figure 14.1.), on appliquera les formules suivantes :

$$s_0 = \frac{H}{T} ; T = \frac{BLH}{Q}, \text{ d'où } s_0 = \frac{Q}{BL} \quad (\text{m}^3/\text{m}^2/\text{h} = \text{m}/\text{h})$$

dans lesquelles

s_0 = vitesse de décantation (m/hr)

T = temps de rétention en heure (h)

Q = débit (m^3/h)

H = profondeur du décanteur (m)

B = largeur du décanteur (m)

L = longueur du décanteur (m)

Avec une distribution homogène de toutes les particules en suspension dans l'eau dans toute la hauteur du décanteur (grâce à une entrée bien conçue), les particules ayant une vitesse de décantation (s) supérieure à s_0 seront complètement éliminées; les particules qui décantent à une vitesse inférieure à s_0 seront éliminées dans un rapport $\frac{s}{s_0}$.

Cette analyse théorique montre que l'efficacité d'une décantation dépend seulement du rapport entre le débit entrant et la surface du décanteur. Ce rapport dit "charge hydraulique" est indépendant de la profondeur du décanteur. En principe, il n'y a pas de différence pour l'efficacité d'une décantation entre un décanteur peu profond et un décanteur profond.

L'efficacité d'un décanteur conçu ainsi qu'il est indiqué sur la figure 14.1. peut toutefois être améliorée de manière appréciable par l'installation d'un second plan de sédimentation ainsi que le montre la figure 14.2. La surface effective sera très augmentée et la charge hydraulique sera très réduite. Une conception correcte d'un bassin de décantation devrait reposer sur l'analyse des vitesses de décantation des particules sédimentables contenues dans l'eau brute (cf. Annexe 3).

Si la sédimentation est utilisée sans pré-traitement ("décantation simple") pour clarifier l'eau d'une rivière, la charge hydraulique devra en général être comprise entre 0,1 et 1 m/h. Pour les décanteurs recevant de l'eau préalablement traitée par coagulation et floculation chimiques, une charge plus importante est possible, par exemple entre 1 et 3 m/heure. Dans les

deux cas, plus la charge hydraulique est faible, meilleure est la clarification de l'eau : l'eau décantée en sera d'autant moins trouble.

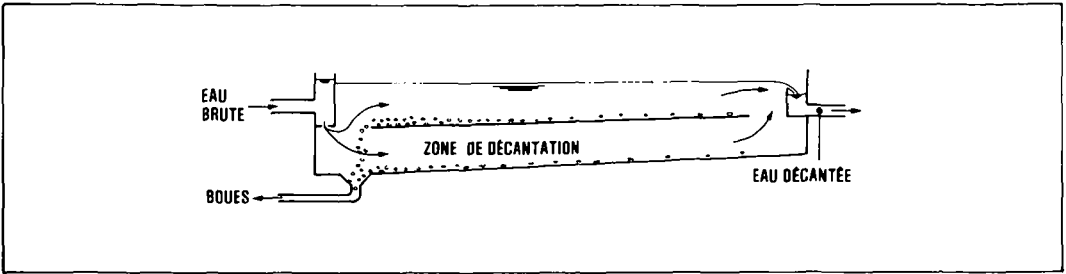


Figure 14.2.
Réservoir de décantation à deux étages

Les considérations ci-dessus ne tiennent pas compte des effets de turbulence, des trajets préférentiels et du lessivage du fond. Afin de réduire au maximum ces effets, le décanteur doit être suffisamment profond (au moins 2 m.) et le rapport entre sa longueur et sa largeur devra se situer entre 3 et 8. La vitesse du flux horizontal, calculée par $v_0 = \frac{Q}{BH}$ se situera alors entre 4 et 36 m/h. Un décanteur de 2 m. de profondeur ou plus pourra s'adapter à un équipement mécanique d'élimination des boues mais un nettoyage manuel conviendra mieux pour les petites installations. Ce nettoyage sera réalisé à des intervalles variant de une à plusieurs semaines. La profondeur du décanteur doit permettre le stockage des boues qui s'accumulent au fond entre les nettoyages.

A titre d'exemple de conception d'un décanteur, on considérera une ville de 10.000 habitants, avec une fourniture moyenne d'eau de 40 litres/jour/personne. En se basant sur une demande de pointe égale à 1,2 fois la demande moyenne, le débit à fournir est

$$Q = 10.000 \times \frac{40}{1.000} \times 1,2 = 480 \text{ m}^3/\text{jour}, \text{ soit } 20 \text{ m}^3/\text{heure}$$

Ce chiffre s'inscrit bien dans les limites indiquées ci-dessus. On admettra que, durant les périodes de haute turbidité, l'eau de rivière contient une charge en suspension de 120 mg/l qui doit être réduite à 10 mg/l par la sédimentation; 110 g de boues seront alors retenus par m^3 d'eau clarifiée. Avec une charge hydraulique de 0,5 m/h, cela implique une accumulation moyenne de boues de $55 \text{ g}/\text{m}^2/\text{h}$; dans le cas d'une boue ayant un taux de matières sèches de 3 %, on obtient un volume de boues de $\frac{55}{0,03} = 1830 \text{ cm}^3/\text{m}^2/\text{h}$, soit un dépôt de 1,83 mm/h. A l'entrée dans le décanteur, les dépôts s'accumuleront plus rapidement et l'on comptera de l'ordre de 5 mm/h; ainsi, pour une accumulation possible de 0,5 m, on doit escompter un intervalle de 125 h, ou 5 jours, entre les nettoyages. Lorsque les périodes de haute turbidité sont rares et de courte durée, cet intervalle est très acceptable.

14.3 Construction

Les décanteurs à parois verticales sont normalement construits en béton ou en maçonnerie; ils peuvent être creusés dans le sol et comportent alors des berges en terre compactée, avec un revêtement de protection si nécessaire.

Les décanteurs de taille moyenne et les grands décanteurs sont généralement rectangulaires en plan et en coupe. Afin de faciliter l'élimination des boues, il est conseillé d'avoir un fond légèrement en pente vers l'entrée du décanteur, où est établi le puits de réception des boues.

Comme il a été indiqué en 14.1., un décanteur doit avoir un dispositif d'entrée séparé afin d'assurer une distribution homogène de l'eau sur toute la largeur et toute la profondeur de l'appareil. De nombreux dispositifs peuvent être imaginés; la figure 14.3. donne quelques exemples. Le modèle de gauche comporte une goulotte établie sur toute la largeur du décanteur et percée dans le fond d'un grand nombre de petites ouvertures à travers lesquelles l'eau pénètre dans la zone de sédimentation. Pour obtenir une distribution uniforme, ces ouvertures doivent être peu espacées, de moins de 0,5 m; leur diamètre ne doit pas être trop réduit (par exemple 3 à 5 cm), pour éviter le colmatage. La goulotte doit être largement dimensionnée avec une section transversale au moins égale à deux fois la surface totale des ouvertures. Un décanteur correspondant à l'exemple donné ci-dessus, avec une capacité de $20 \text{ m}^3/\text{h}$ et une largeur de 3 m, devra avoir une goulotte d'entrée comportant au moins 6 orifices de 4 cm de diamètre; la goulotte aura environ 0,4 m de profondeur et 0,3 m de large.

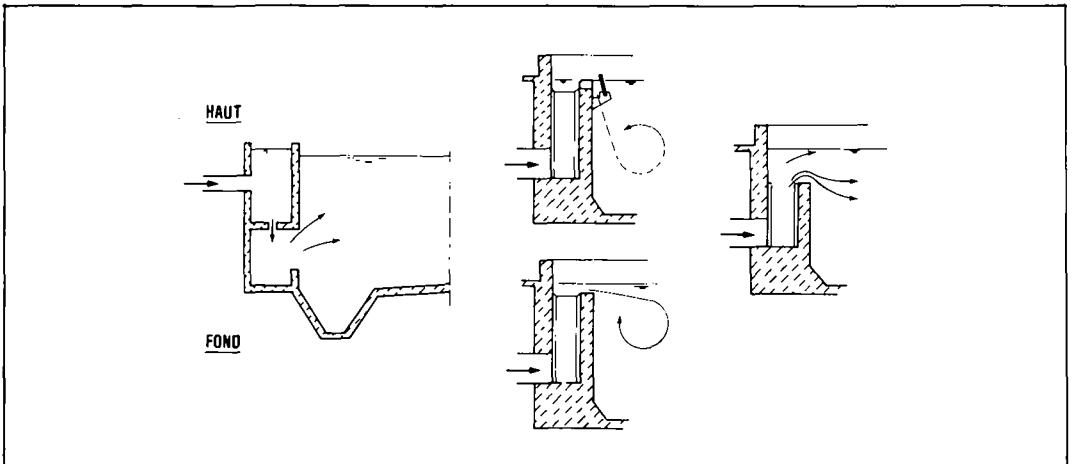


Figure 14.3.
Dispositifs d'entrée

Fréquemment, l'eau décantée est évacuée par surverse. Parfois il suffit d'un déversoir mais, pour empêcher une remise en suspension des boues décantées, l'évacuation de l'eau doit toujours se faire lentement et il peut être nécessaire de prévoir plusieurs déversoirs dont la longueur totale sera un multiple de la largeur du décanteur (nB). La formule suivante peut être utilisée pour calculer la longueur totale du déversoir :

$$nB = \frac{Q}{5Hs_0}$$

Dans l'exemple donné en 14.2. :

$$n \times 3 = \frac{20}{(5)(1,5)(0,5)} \text{ d'où } n = 2$$

Des dispositifs de sortie utilisant un ou plusieurs déversoirs sont présentés sur la figure 14.4.

Lorsque l'on utilise des déversoirs à faible débit, il est important d'avoir un arasement précis du seuil. Dans l'exemple ci-dessus, pour un déversoir évacuant $5 \text{ m}^3/\text{h}$, la hauteur de l'eau sur le seuil ne sera que de 8 mm. Un petit décalage dans l'arasement du seuil entraînerait alors des irrégularités le long du seuil pour le débit de l'eau décantée. Pour éviter cela autant que possible, la crête du déversoir est réalisée avec une lame métallique boulonnée sur le mur en béton du décanteur. Cette lame comporte des entailles triangulaires régulièrement espacées (figure 14.5.). Une autre solution est présentée sur la figure 14.4., à gauche. Les ouvertures pratiquées dans la paroi du décanteur ont alors un diamètre inférieur à celui des orifices mis en oeuvre dans le dispositif d'entrée. Pour $Q = 20 \text{ m}^3/\text{h}$, 6 ouvertures de 2,5 cm de diamètre doivent être suffisantes. Les matières en suspension contenues dans l'eau de sortie étant normalement très réduites, le danger d'obstruction des trous est faible et il ne doit pas être nécessaire de nettoyer trop fréquemment.

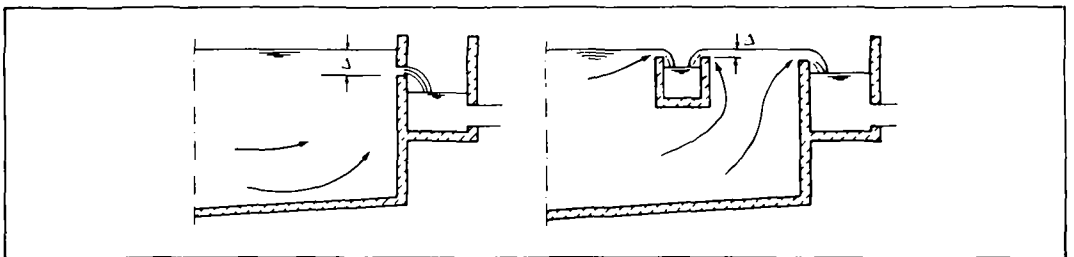


Figure 14.4.
Dispositifs de sortie

Les petits décanteurs peuvent aussi être construits simplement : ce peut être un bassin à parois verticales réalisées avec un rideau de palplanches en bois ou matériau similaire (figure 14.6.); ce peut être un bassin à berges inclinées (figure 14.7.). Dans le dernier cas,

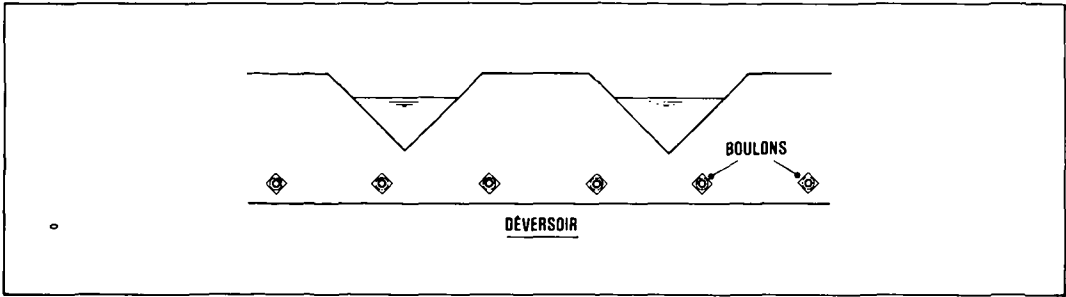


Figure 14.5.
Seuil de déversoir à entailles

on ne considérera en plan que la coupe correspondant à la moitié de la partie immergée de la berge lorsqu'on calculera la surface effective, d'où on déduira la charge hydraulique du décanteur. Dans les deux cas, le décanteur devra être construit sur un sol surélevé afin d'éviter l'inondation des installations en périodes de hautes eaux.

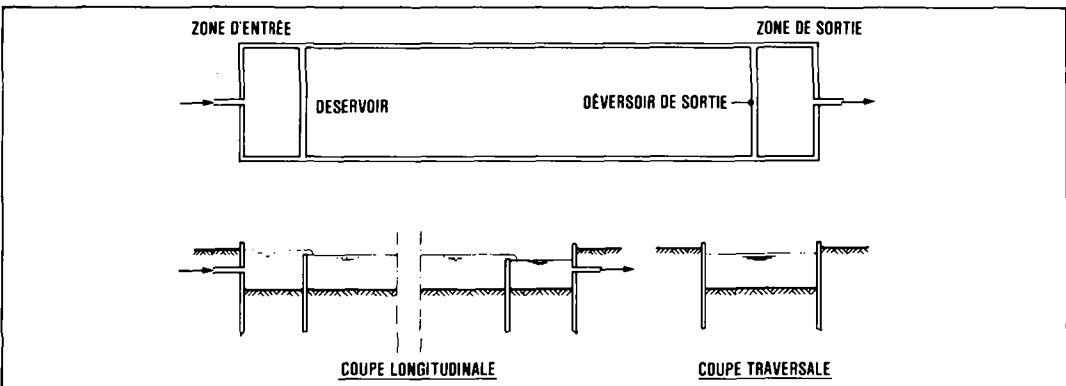


Figure 14.6.
Décanteur construit avec un rideau de palplanches en bois

14.4 Décanteurs à étages et décanteurs lamellaires

L'amélioration de l'efficacité d'une décantation qui, comme on l'a vu, peut être obtenue par la mise en place d'un second plan de sédimentation, peut être accrue de manière considérable en établissant de multiples plans comme indiqué sur la figure 14.8. L'espace entre les plans de sédimentation étant réduit, il n'est plus possible d'éliminer manuellement les dépôts de boues avec des racloirs. Un nettoyage au jet serait concevable mais la meilleure solution est la mise en oeuvre de plaques auto-nettoyantes. On utilise alors des plaques inclinées 40° à 60° sur l'horizontale. L'angle optimal dépend des caractéristiques de la boue qui varieront selon les différentes qualités d'eau brute. De telles installations sont dites "décanteurs à

plaques". Ce type de décanteur est présenté de façon schématique sur la figure 14.9. Une coupe transversale est donnée sur la figure 14.10.

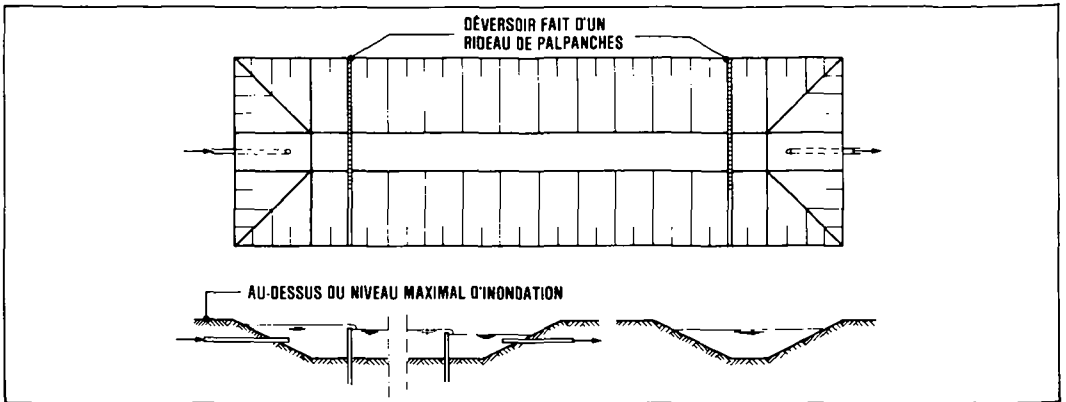


Figure 14.7.
Décanteur creusé dans le sol

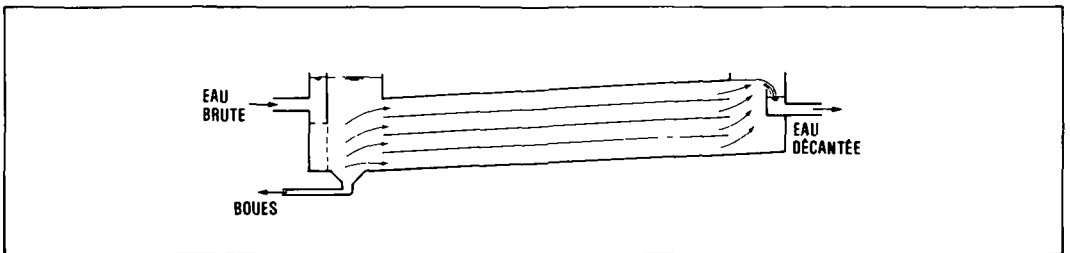


Figure 14.8.
Décanteur à plusieurs plans de sédimentation

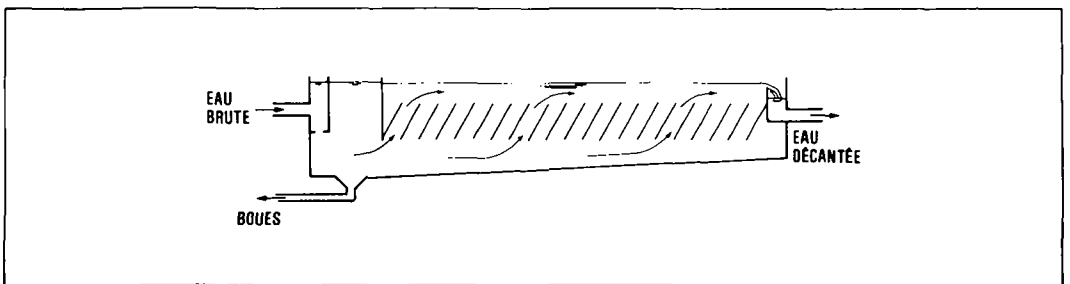


Figure 14.9.
Décanteur à plaques

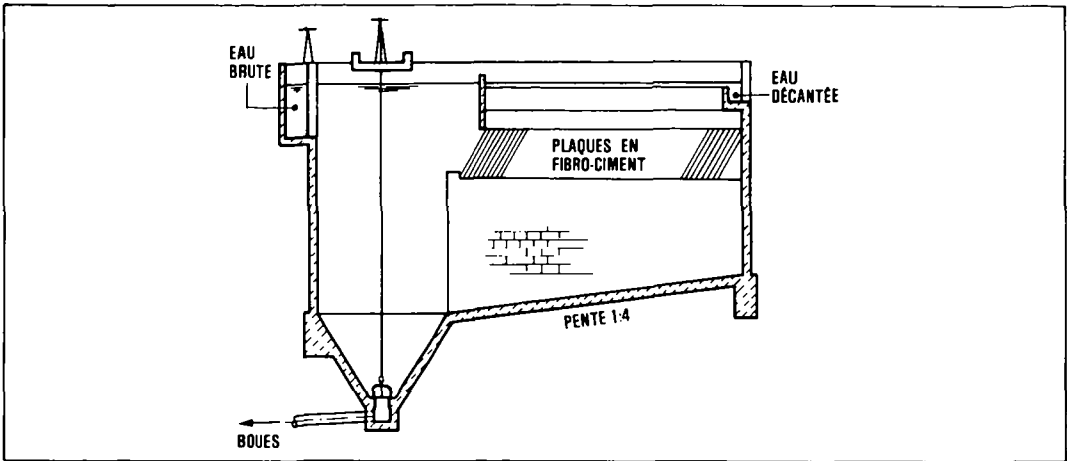


Figure 14.10.
Décanteur à plaques

Pour les grands décanteurs, on a conçu des systèmes sophistiqués de plans ou de plaques mais, pour de petites installations, des dispositifs comportant des plans inclinés ou des plaques ondulées avec un écoulement d'eau de bas en haut sont souvent ce qui convient le mieux. Pour toute opération de clarification, les décanteurs de type lamellaire ont l'avantage de concentrer une grande capacité de décantation dans un petit volume. La surface offerte à la sédimentation étant élevée, la charge hydraulique sera basse; l'efficacité de la décantation sera donc considérable. La charge hydraulique peut être calculée comme suit :

$$s = \frac{Q}{nA}$$

s = charge hydraulique ($m^3/m^2/h.$)

Q = débit ($m^3/h.$)

A = surface du fond du bassin (m^2)

n = facteur de multiplication dépendant du type et de la disposition des plaques

L'eau pénètre par le fond du décanteur, s'écoule de bas en haut, traverse le dispositif de plaques inclinées, et est collectée dans les goulottes placées à la partie supérieure (figure 14.11.). Les particules décantables se déposent sur les plaques, glissent vers le bas, et peuvent tomber dans la zone située en-dessous des plaques. La même particule peut pénétrer à plusieurs reprises dans les intervalles situés entre deux plaques, avant qu'elle ne s'agglomère et atteigne un poids suffisant pour se déposer sur le fond du décanteur.

Avec les données suivantes : $h = 1,5$ m., $w = 0,05$ m., $\alpha = 55^\circ$, les plaques étant en fibrociment d'une épaisseur de 6 mm, on obtient $n = 16$. On doit se rappeler que les dépôts de boues par unité de surface du fond de l'appareil seront également 16 fois plus importants, pour

le même débit d'entrée. L'élimination manuelle de la boue sera probablement impraticable. Dans un décanteur carré, des racloirs rotatifs pourraient être utilisés. Une autre possibilité est d'établir un fond en forme de trémie avec des parois inclinées à 50° . La profondeur d'un tel décanteur sera considérable et les coûts de construction probablement plus élevés qu'avec des décanteurs à fond plat.

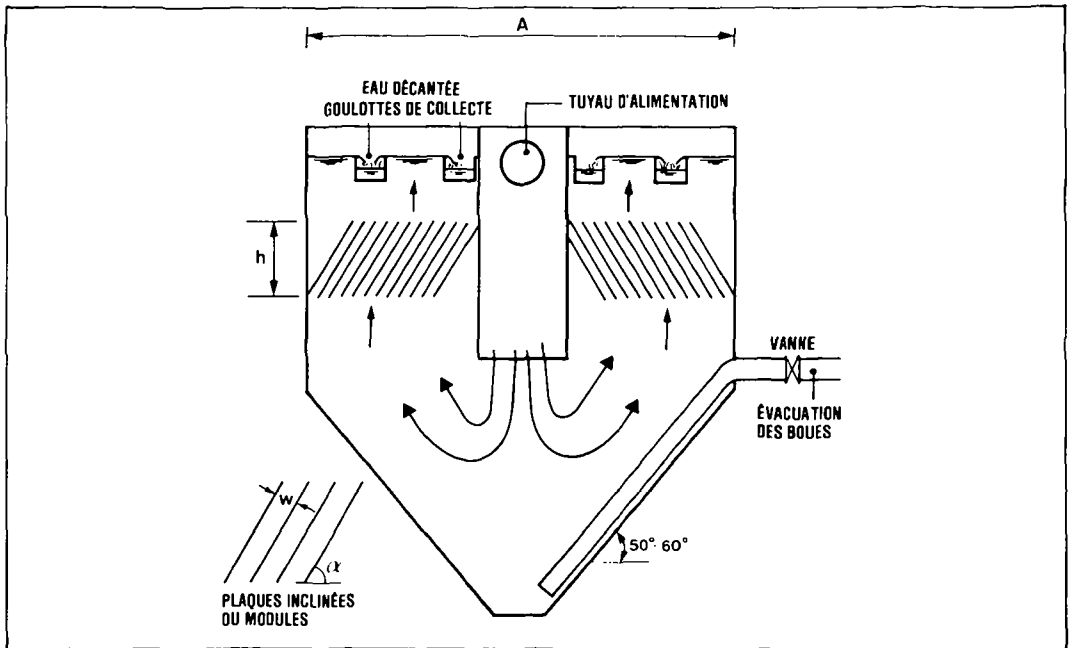


Figure 14.11.
Éléments caractéristiques pour la conception d'un décanteur lamellaire

L'élimination de la boue est réalisée en évacuant l'eau qui se trouve au fond de la trémie du décanteur (purge). Pour remplacer les séries de plaques inclinées, on peut utiliser des assemblages de tubes qui peuvent être facilement fabriqués en PVC, avec un diamètre interne de 3 à 5 cm et une inclinaison d'environ 60° . Pour de grandes installations, il peut être intéressant de recourir à des assemblages disponibles sur le marché. La figure 14.12. donne un exemple d'un tel assemblage. Il existe beaucoup d'autres dispositifs qui peuvent conduire à une décantation efficace.

Dans un tube de 5 cm de diamètre, la plus grande distance qu'une particule décantable ait à parcourir est la distance qui existe entre la partie haute et la partie basse du tube. Si la vitesse de décantation des particules est de 2,5 cm/minute, le temps mis par la particule pour parcourir cette distance ne sera que de deux minutes. Si la décantation de cette même

particule était réalisée dans un bassin de 3 m de profondeur, le temps nécessaire pour atteindre le fond du décanteur serait de 120 minutes (deux heures). Les modules tubulaires ont en général 76 cm de large, 3 m de long et 54 cm de haut. Avec un angle de 60°, la longueur effective du tube est de 61 cm.

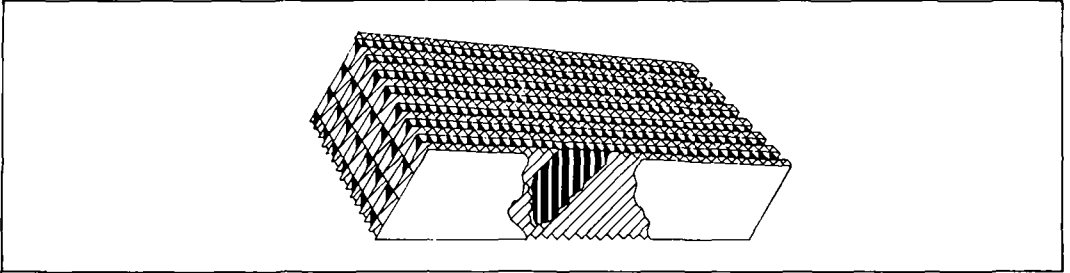


Figure 14.12.
Module pour une décantation lamellaire

Les modules tubulaires peuvent être construits à partir de tôles plates de plastique ABS, les passages étant limités par des plaques de PVC. L'ensemble sera conçu selon un schéma entre-croisé fournissant une résistance suffisante pour que le module puisse n'être porté que par ses extrémités. Etant en plastique, ces modules peuvent être aisément rangés pour remplir l'espace disponible dans un décanteur.

La surface effective de décantation est très grande et, ainsi, la "charge hydraulique" très basse. Pour illustrer cela : un débit de $2 \text{ m}^3/\text{h}$ à travers un décanteur de $0,1 \text{ m}^2$ de surface correspond à une "charge hydraulique" de $20 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$. Si on utilise 20 rangées de tubes, la charge hydraulique sera réduite à $1 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$. Le temps de rétention de l'eau dans chaque tube sera de quelques minutes.

L'efficacité d'un décanteur existant peut ainsi être accrue par l'installation de plaques ou de tubes inclinés. Dans le cas où la profondeur du décanteur disponible est trop petite, inférieure à 2 m, l'installation de plaques ou de tubes inclinés posera probablement des problèmes. Dans des bassins plus profonds, elle pourra être très avantageuse. Si on modifie des installations existantes en installant des plaques ou des tubes inclinés, il est important de se rappeler que l'on obtiendra davantage de boues et qu'il conviendra donc de prévoir des moyens supplémentaires pour leur élimination.

Les dimensions des dispositifs d'entrée et de sortie, ainsi que les capacités d'évacuation du déversoir devront également être vérifiées pour savoir si elles pourront faire face à l'augmentation de la charge.

Sedimentation

Babbitt, H.E.; Doland, J.J.; Cleasby, J.L.
WATER SUPPLY ENGINEERING
McGraw-Hill, New York, 1962 (6th Edition)

Camp, T.R.
SEDIMENTATION AND THE DESIGN OF SETTLING TANKS
In : Trans. ASCE, 1946, No. 3, pp. 895-903

Culp, A.M.; Kou-Ying Hsiung, Conley, W.R.
TUBE CLARIFICATION PROCESS : operation experiences
In : Proc. Am. Soc. Civil Eng. Vol. 95 (1969) SA 5 October, pp. 829-836

Fair, G.M.; Geyer, J.C.; Okun, D.A.
WATER AND WASTEWATER ENGINEERING
Vol. 2, Water Purification and Wastewater Treatment and Disposal,
John Wiley & Sons, New York, 1968

Hazen, A.
ON SEDIMENTATION
In : Trans. Am. Soc. Civil Eng., 1904, No. 53, pp. 45-51

15. filtration lente sur sable

15.1 Introduction

La filtration est un procédé de traitement qui réalise la purification de l'eau en lui faisant traverser un matériau poreux. Dans la filtration lente sur sable, l'eau percole lentement à travers un lit de sable fin (figure 15.1.). Compte tenu de la finesse des grains, les pores du lit filtrant sont petits. Les matières en suspension présentes dans l'eau brute sont retenues dans la couche supérieure du lit filtrant (0,5 à 2 cm). On peut alors nettoyer le filtre en éliminant par raclage la couche supérieure de sable. Les débits appliqués au filtre étant réduits (0,1 à 0,3 m/h soit 2 à 7 m³/m²/jour), l'intervalle entre deux nettoyages successifs sera assez long, en général plusieurs mois. Le nettoyage du filtre ne doit pas prendre plus d'un jour mais, après le nettoyage, une ou deux journées supplémentaires sont nécessaires avant que le lit filtrant retrouve

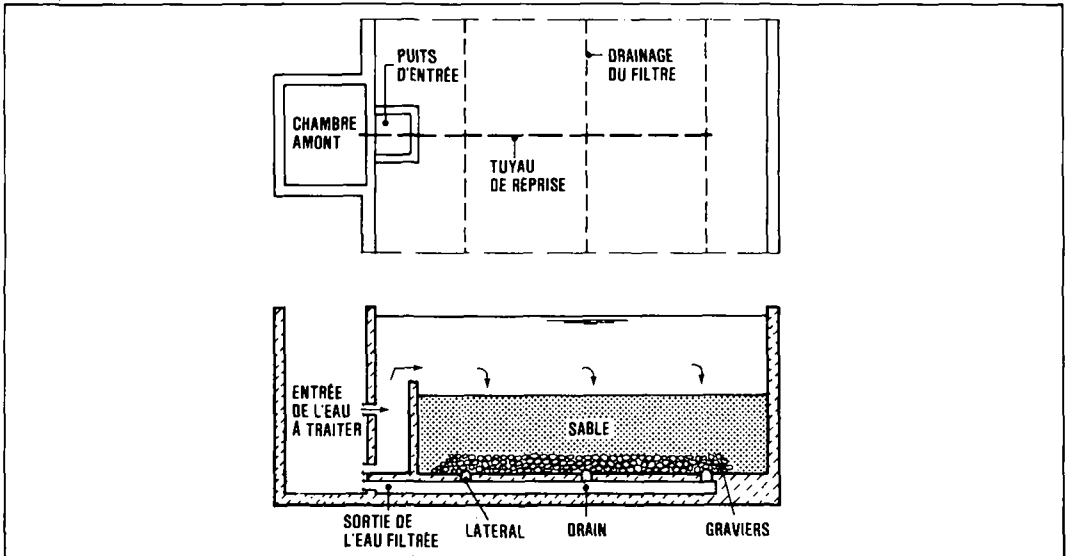
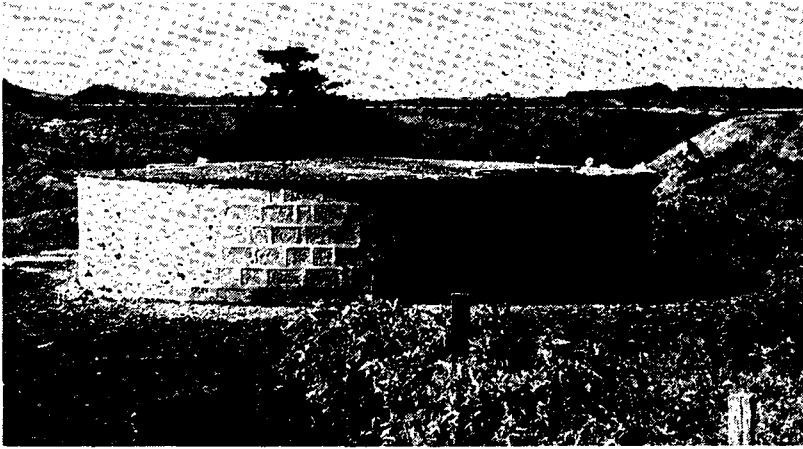


Figure 15.1.
Filtre lent à sable

Le but principal de la filtration lente sur sable est l'élimination des organismes pathogènes contenus dans l'eau brute, en particulier les bactéries et les virus responsables de nombreuses maladies hydriques. La filtration lente sur sable est très efficace sur ce point : elle peut réduire l'ensemble des bactéries contenues dans l'eau d'un facteur entre 1.000 et 10.000 ainsi que les E. Coli d'un facteur compris entre 100 et 1.000. Un filtre lent à sable fonctionnant correctement éliminera les protozoaires tels que les Endamoeba histolytica et les helminthes tels que les schistosoma haematobium et les Ascaris lumbricoides. Si on applique le processus de filtration lente sur sable à une eau brute légèrement

contaminée, les filtres lents sur sable produiront une eau bactériologiquement pure. Les *E. Coli* seront normalement absents dans un échantillon de 100 ml d'eau filtrée, ce qui correspond aux normes standard de l'eau potable.



IRC Photo

Figure 15.2.
Filtre lent sur sable de type circulaire (Pakistan)

Les filtres lents sur sable sont également très efficaces pour l'élimination des matières en suspension contenues dans l'eau brute. Cependant, le colmatage du lit filtrant peut être trop rapide, ce qui nécessite des nettoyages fréquents. Un fonctionnement sans problème n'est possible que lorsque la turbidité moyenne de l'eau brute est inférieure à 5 F.T.U., avec des valeurs de pointe n'excédant pas 20 F.T.U. et ce seulement pendant de courtes périodes de quelques jours. Lorsqu'il n'en va pas ainsi, les matières en suspension dans l'eau brute doivent être abaissées par un pré-traitement tel que la sédimentation, la coagulation et la floculation ou la filtration rapide avant que l'eau ne soit admise sur le filtre lent. S'il y a des réservoirs de stockage, les particules en suspension seront éliminées par décantation, mais un colmatage rapide du lit filtrant peut alors intervenir s'il apparaît des croissances algales. Le pré-traitement devient alors nécessaire.

Il y a de nombreux avantages à utiliser les filtres lents sur sable dans les pays en voie de développement. Ils produisent une eau claire, libérée des impuretés en suspension et pure sur le plan bactériologique. Ils peuvent être construits avec des matériaux locaux en utilisant les compétences et la main d'oeuvre locales. On évite les nombreux équipements électromécaniques complexes qu'il faut importer. Les filtres lents sur sable ne font pas appel, pour leur fonctionnement, à des coagulants chimiques, à de la chaux ou à du chlore, qu'il faut importer. Ils occupent cependant davantage de surface au sol et leur nettoyage nécessite une main d'oeuvre plus importante mais, et surtout dans les

zones rurales des pays en voie de développement, ces sujétions ne présentent généralement pas un réel inconvénient.

15.2 Théorie de la filtration lente sur sable

Dans les filtres lents sur sable, l'élimination des impuretés contenues dans l'eau brute est obtenue par la combinaison de différents processus tels que la sédimentation, l'adsorption, le tamisage et, ce qui est plus important, des actions biochimiques et microbiennes. Les processus de purification commencent dans la couche d'eau qui recouvre le filtre mais l'élimination des impuretés contenues dans l'eau et les processus microbien et bio-chimique se produisent essentiellement dans la couche supérieure du lit filtrant (1).

Un effet de tamisage éliminera les particules en suspension trop grosses pour passer à travers les pores du lit filtrant. Il se situe presque exclusivement à la surface du filtre, l'essentiel des impuretés étant retenues dans la couche supérieure. L'efficacité du tamisage s'en trouve améliorée mais la résistance à l'écoulement de l'eau est accrue. Les impuretés accumulées devront être périodiquement évacuées par raclage de la couche supérieure. Ainsi, la charge sur la surface d'un filtre est ramenée à sa valeur initiale.

Un effet de sédimentation élimine les solides fins en suspension qui se déposent à la surface du lit filtrant. Pour le sable fin normalement utilisé dans les filtres lents sur sable, la surface totale formée par les grains est très importante, quelque 10.000 à 20.000 m^2/m^3 de sable filtrant. Avec un débit d'eau réduit, cela donne une très faible "charge hydraulique" (voir sous chapitre 14.2.). L'efficacité de la décantation sera alors telle que même les très petites particules peuvent être complètement éliminées. Cette action s'exerce également essentiellement dans la partie supérieure du filtre; seule la matière organique de faible densité descendra plus profondément dans le lit. Le reste des solides en suspension, en même temps que les impuretés, colloïdales ou dissoutes, sont éliminées par adsorption soit sur l'enduit gélatineux qui se forme autour des grains de sable, soit du fait de l'attraction de masse et de l'attraction électrostatique.

L'attraction électrostatique est la plus efficace, mais elle n'opère qu'entre particules ayant des charges électriques opposées. Un sable siliceux propre a une charge négative et est donc incapable d'adsorber les particules chargées négativement, telles que les bactéries, les matières colloïdales d'origine organique, les anions des nitrates, les phosphates et les composants chimiques similaires. Ainsi, durant la période de maturation d'un filtre lent sur sable, seules les particules chargées positivement sont adsorbées, telles que les floccs des carbonates, les hydroxydes de fer et d'aluminium et les cations du fer et du manganèse. Cependant, l'adsorption de particules chargées positivement continuera jusqu'à ce qu'intervienne la saturation. La charge totale du film qui entoure les grains de sable devient positive, les

(1) Le "film biologique" qui se forme à la partie supérieure du filtre

articles chargées négativement seront alors attirées et retenues. Après la période initiale de maturation, le lit filtrant contiendra une série variée et en continuelle variation d'éléments portant des charges positives et des charges négatives qui sont capables d'adsorber la plupart des impuretés contenues dans l'eau qui le traverse.

Les matières accumulées sur les grains de sable du filtre évoluent car elles sont transformées par l'activité bio-chimique et bactérienne. Les composants solubles ferreux et organiques sont transformés en hydroxydes insolubles ferriques et manganiques qui participent à un film qui se forme autour des grains de sable. La matière organique est partiellement oxydée, fournissant ainsi l'énergie nécessaire aux bactéries pour leur métabolisme. Une autre partie de la matière organique est transformée en matériel cellulaire pour la croissance bactérienne. Habituellement, la quantité de matière organique contenue dans l'eau brute est très faible et ne peut fournir de nourriture qu'à une population bactérienne limitée. Ainsi, la croissance bactérienne mentionnée ci-dessus se développe parallèlement à la mort progressive des bactéries. Il y a alors largage de matière organique, qui est transportée par l'eau qui s'écoule. Celle-ci est à nouveau consommée par d'autres bactéries situées plus profondément dans le lit filtrant. De cette manière, la matière organique dégradable et présente originellement dans l'eau brute est graduellement détruite et transformée en composants minéraux tels que le dioxyde de carbone, les nitrates, les sulfates et les phosphates. Finalement, ils sont évacués avec l'eau sortant du filtre.

Il faut insister sur le fait que les actions biologiques mentionnées ci-dessus ont besoin de temps pour s'établir. Ainsi, une période de maturation suffisamment longue est nécessaire. Durant ce temps les bactéries contenues dans l'eau brute sont adsorbées sur le lit filtrant; elles se multiplient alors en se nourrissant des matières organiques présentes dans l'eau. La destruction de ces matières organiques s'effectue en plusieurs étapes dans chacune desquelles intervient un type particulier de bactérie.

Pour que le processus de filtration soit effectif, il est nécessaire que les bactéries se développent et émigrent vers les couches profondes du lit filtrant. Cela prend du temps, et les variations dans les débits soumis à la filtration ne doivent intervenir que lentement, sur plusieurs heures. En pratique il a été montré que la pleine activité bactérienne se produit dans le lit filtrant à une profondeur d'environ 0,6 m; l'épaisseur effective du lit ne doit donc pas être inférieure à 0,7 m. L'épaisseur initiale du lit doit être supérieure de 0,3 - 0,5 m à cette valeur pour permettre de réaliser un certain nombre de raclages de la partie supérieure avant d'être obligé de recharger le filtre.

L'action la plus importante d'un filtre lent sur sable est l'élimination des bactéries et des virus. Grâce à l'adsorption et à d'autres processus, les bactéries sont éliminées de l'eau par rétention à la surface du lit filtrant. Le lit filtrant n'est d'autre part pas un lieu favorable à la survie des bactéries intestinales, car l'eau qui le traverse est généra-

lement plus froide que leur habitat naturel, et ne contient pas suffisamment de matières organiques (d'origine animale) pour leurs exigences vitales.

De plus, dans la partie supérieure du lit filtrant, prolifèrent plusieurs types d'organismes prédateurs qui s'alimentent à partir des bactéries. Plus profondément à l'intérieur du lit filtrant, une oxydation bio-chimique aura déjà, et de beaucoup, réduit la matière organique contenue dans l'eau et les bactéries mourront de faim. Les divers micro-organismes que renferme le filtre lent produisent des composants chimiques (anti-biologiques) et des agents microbiens qui tuent ou du moins inactivent les bactéries intestinales. L'effet global est une réduction considérable du nombre des *E. Coli* et, puisque les pathogènes sont réputés survivre moins longtemps que les *E. Coli*, une encore plus grande réduction du nombre de ces derniers. Le traitement d'une eau brute de qualité bactériologique moyenne par des filtres lents sur sable conduit normalement, pour les échantillons d'eau filtrée de 100 ml, à l'absence d'*E. Coli*.

Les filtres lents sur sable ne sont en général pas couverts. Une apparition d'algues peut alors survenir sous l'action de la photosynthèse et conduit à quelques inconvénients comme on le verra dans le sous-chapitre 15.5., mais accroît cependant l'efficacité du filtre et facilite l'élimination d'une grande quantité de matières organiques et de bactéries. Cette action résulte de la formation à la surface du lit filtrant d'un mince film biologique composé d'algues filiformes et de nombreuses autres formes de vie aquatique telles que les planctons, les diatomées, les protozoaires et les rotifères. Ce film biologique est intensément actif avec des organismes variés qui captent, digèrent et détruisent les matières organiques contenues dans l'eau qui le traverse. Les algues mortes contenues dans la couche d'eau alimentant le filtre et les bactéries vivant dans l'eau brute sont consommées de la même manière dans cette pellicule biologique; les matières inertes en suspension sont tamisées et peuvent ainsi être éliminées.

15.3 Principes de fonctionnement

Un filtre lent sur sable est essentiellement formé d'un bassin, non couvert, contenant le lit de sable. La profondeur du bassin est d'environ 3 m, sa surface peut varier de quelques dizaines à plusieurs centaines de m². A la base du bassin, un système drainant (plancher du filtre) supporte le lit filtrant. Le lit est composé de sable fin, habituellement non calibré, dépourvu d'argile et de limon avec aussi peu de matière organique que possible. Le lit filtrant a, normalement, une épaisseur de 1,0 à 1,2 m, et l'eau à traiter constitue une couche de 1,0 à 1,5 m de hauteur au-dessus de la partie supérieure du lit.

L'appareil est équipé d'un certain nombre de dispositifs d'entrée et de sortie munis de vannes et des moyens de contrôle. Ils ont pour fonction de maintenir le niveau de l'eau brute et la valeur fixée pour débit.

Pour la clarté du dessin, les dispositifs d'entrée et de sortie sont individualisés sur la figure 15.3. mais en pratique ils sont groupés pour réduire les coûts de construction.

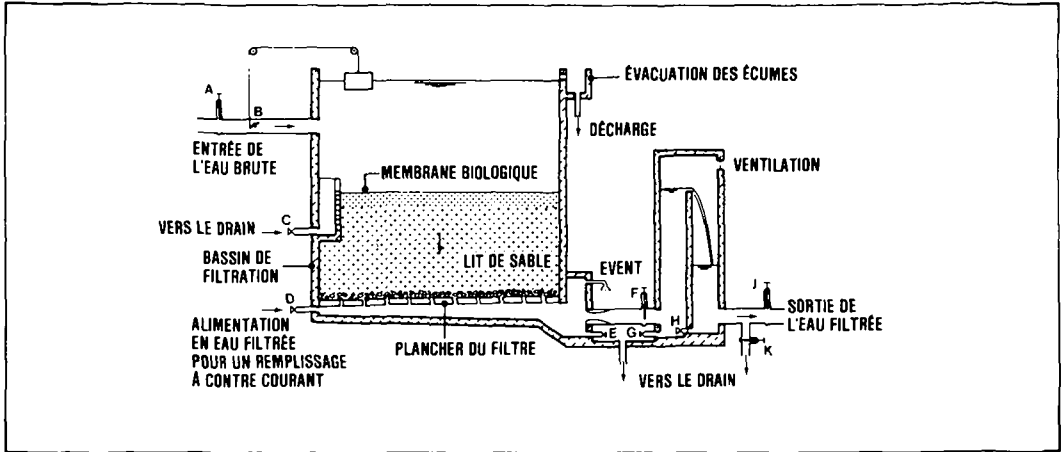


Figure 15.3.
Filtre lent sur sable

Fonctionnement : l'eau brute entre dans le filtre à travers la vanne A. Un flotteur assure la régulation du niveau de l'eau sur le filtre en actionnant la vanne B; l'eau s'infiltre dans le lit et s'écoule vers le plancher du filtre; l'eau filtrée passe alors par un débitmètre et par la vanne compensatrice F, et pénètre dans la chambre de sortie à seuil déversoir; à partir de là l'eau traverse la vanne J et s'écoule dans le puits d'eau filtrée. La vanne B maintient l'eau brute à un niveau constant. Pour obtenir un débit constant d'eau filtrée, la vanne compensatrice F doit être ouverte un petit peu plus chaque jour afin de compenser l'augmentation de la résistance du lit filtrant due au colmatage. En cas de modification de la demande d'eau filtrée, on ajuste lentement la vanne F, sur une période de plusieurs heures, en vérifiant le débit d'eau par observation du débit-mètre. Le déversoir établi sur la sortie de l'eau filtrée prévient les sous-pressions qui pourraient se produire dans le lit filtrant et rend le fonctionnement du filtre indépendant des variations du niveau d'eau dans le puits d'eau filtrée. Le déversoir permet également l'aération de l'eau. La chambre où est établi le déversoir devra donc être ventilée. La ventilation est nécessaire, de plus, pour le filtre lui-même afin de permettre l'évacuation des gaz qui sont relâchés ou produits durant la filtration. Pour faciliter cette évacuation des gaz, le plancher du filtre doit avoir une pente de 1/500 dans le sens de l'écoulement. Pour les vidanges, (par exemple lorsqu'il y a des réparations à faire), le plancher du filtre doit avoir une pente de 1/200 vers le bas. Des quantités considérables d'écume (par exemple : algues flottantes) peuvent s'accumuler à la surface de l'eau au cours de la filtration; il est donc prévu des évacuations des boues flottantes et des écumes aux quatre coins du filtre, qui permettent une élimination régulière de ces écumes. Lorsque, après une certaine période de fonctionnement, la vanne compensatrice F est complètement ouverte, toute augmentation ultérieure de la résistance du filtre provoquera une diminution du débit

d'eau filtrée. La production d'eau filtrée tombera en-dessous de ce qu'il est nécessaire, et le filtre devra être mis hors service pour nettoyage. Le nettoyage s'effectue par raclage de la surface de sable sale (1,5 à 2 cm). Pour cela le filtre doit être d'abord vidangé, l'eau étant ramenée à un niveau d'environ 0,2 m en-dessous de la surface du lit de sable. Pour commencer le nettoyage, la vanne A est fermée, habituellement en fin de journée; le filtre continue alors à fournir de l'eau filtrée de manière normale à travers les vannes F et J. Au cours de la matinée suivante, les vannes F et J sont fermées et l'eau qui reste au-dessus du filtre est évacuée en ouvrant la vanne C. La vidange du filtre est contrôlée par une chambre dont l'un des murs est formé de traverses de bois constituant un barrage. Le seuil de ce barrage est établi à un niveau voisin de celui de la partie supérieure du lit filtrant. L'eau interstitielle contenue dans la couche supérieure du lit (0,20 m) est évacuée par ouverture de la vanne E pendant une courte période de temps. Lorsque le nettoyage (voir le sous-chapitre 15.6.) a été effectué, la vanne C est fermée et le filtre est lentement rempli, à contre courant, avec de l'eau filtrée, à travers la vanne D jusqu'à un niveau dépassant d'environ 0,1 m la surface du lit de sable. Durant cette opération, il faudra veiller très soigneusement à l'évacuation de tout l'air accumulé dans les pores du lit.

Après cela, l'eau brute est admise par le dispositif d'entrée et traverse la vanne A. On doit alors faire très attention à ne pas endommager le lit filtrant. Une modification intéressante consiste à placer la vanne A au-dessus du dispositif de décharge contrôlé par la vanne C. Lorsque l'eau a atteint dans le filtre son niveau normal déterminé par la vanne B, la vanne K est complètement ouverte et la vanne compensatrice F juste assez pour que le filtre nettoyé fonctionne environ au quart du débit normal de filtration.

Durant les 12 heures suivantes, le débit d'eau filtrée est lentement augmenté jusqu'à ce qu'il atteigne sa valeur normale. Encore douze heures après au moins (mais 36 heures seraient préférables), la vanne K est fermée et la vanne J ouverte et l'on revient au fonctionnement normal. Lorsque le filtre a été mis hors de service pendant un temps assez long, par exemple pour une réparation ou un aménagement, la période de maturation de 1 à 2 jours mentionnée ci-dessus peut être portée plusieurs jours. Lorsque le filtre est neuf, le temps de mise en train peut être de plusieurs semaines. Un filtre mis hors service pendant une très longue période devra être complètement vidangé en utilisant les vannes E, G et H.

La méthode d'exploitation décrite ci-dessus est sûre et donne des résultats satisfaisants, mais l'installation est assez complexe. De nombreuses simplifications sont possibles. Lorsque le niveau supérieur de l'eau brute est maintenu constant en agissant sur le débit d'eau brute à l'entrée, il est possible d'exploiter l'installation sans qu'il soit besoin de la vanne de régulation à flotteur B. Les vannes D et E peuvent être combinées et la fonction de la vanne H peut être accomplie par la vanne K. Les dispositifs d'évacuation d'écumes ne sont pas particulièrement nécessaires pour les petits filtres, si l'élimination des écumes peut se faire

manuellement. La figure 15.4. fournit un exemple d'installation ainsi simplifiée avec un nombre minimal de vannes de contrôle et seulement quelques conduites d'entrée et de sortie.

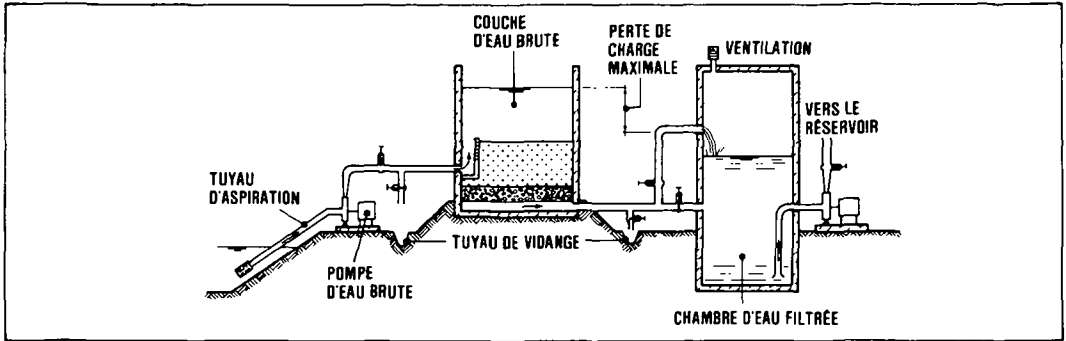


Figure 15.4.
Filtre lent sur sable simplifié

15.4 Considérations sur la conception des installations

Pour construire effectivement un filtre lent sur sable, il convient d'abord de fixer les dimensions ci-après :

- profondeur du lit filtrant
- granulométrie du matériau filtrant
- débit de filtration
- charge d'eau au-dessus du filtre

Dans toute la mesure du possible, ces dimensions devront être basées sur l'expérience acquise du fonctionnement de stations de traitement existantes qui utilisent la même ressource d'eau ou une eau de nature semblable. Lorsqu'on ne dispose pas d'une telle expérience, la conception devra être basée sur les résultats obtenus avec des tests pilotes effectués sur des filtres expérimentaux (voir annexe 3). Lorsqu'aucune donnée basée sur des installations en service ou des pilotes n'est disponible, on opérera comme il suit :

- a) L'épaisseur du lit est à prendre entre 1,0 et 1,2 m. Ceci est suffisant pour permettre un certain nombre de nettoyages par raclage avant que le lit soit réduit à l'épaisseur minimale de 0,7 m.
- b) On étudiera la granulométrie du sable localement disponible et on déterminera la taille effective des grains et le coefficient d'uniformité (voir figure 15.5.). On choisira du sable ayant une taille effective d'environ 0,2 mm et un coefficient d'uniformité de moins de 3. Si un tel sable n'est pas disponible, un coefficient d'uniformité allant jusqu'à 5 peut être admis avec une taille effective des grains comprise dans une fourchette 0,15 à 0,35 mm. Le sable utilisé pour la construction satisfait souvent ces exigences. On utilise parfois de la balle de riz brûlée de 0,3 à 1,0 mm.

- c) La couche d'eau au-dessus du filtre est à fixer entre 1 et 1,5 m.
- d) On prévoira au moins 2 ou même mieux 3 unités de filtration. La surface de l'ensemble devra être suffisante pour que, lorsque l'une des unités est mise hors service pour nettoyage, le débit dans les unités en service ne dépasse pas 0,2 m/h.
- e) On prévoira de la place pour des unités supplémentaires de filtration.
- f) Dès le commencement de l'exploitation, on notera attentivement la durée d'activité du filtre. Une durée moyenne de deux mois est très satisfaisante. Lorsque la durée d'activité est plus longue, les débits de filtration peuvent être accrus, permettant ainsi une production supérieure de l'installation. Si les durées d'activité sont plus réduites que prévu, des unités supplémentaires devront être construites à une date plus rapprochée que celle envisagée.

Dans les filtres lents sur sable, les sous-pressions (c'est-à-dire une chute de la pression de l'eau en-dessous de la pression atmosphérique) doivent être évitées quelles que soient les circonstances, car il se poserait de sérieux problèmes. Des bulles d'air se formeraient et s'accumuleraient dans le lit filtrant, augmentant sa résistance à l'écoulement et diminuant le débit de filtration. Des bulles d'air de grande taille peuvent même endommager le lit filtrant et y créer des renards à travers lesquels l'eau pourrait passer sans subir une épuration convenable. La perte de charge maximale admissible sur le lit filtrant est ainsi limitée à la hauteur de la couche d'eau surmontant le lit augmentée de la résistance d'un lit propre, alors que le débit de la filtration est minimal. Afin de rendre complètement impossible la possibilité d'une sous-pression, un déversoir peut être établi sur le flux de sortie. La différence des cotes entre la partie supérieure de la couche d'eau brute alimentant le filtre et la cote du seuil de ce déversoir ne devra pas dépasser la perte de charge maximale admissible augmentée des pertes de charge dans les conduites d'eau filtrée, le tout encore pour le plus faible débit d'eau filtrée.

Pour de petits débits de filtration, une petite variation du niveau de l'eau alimentant le filtre peut avoir une influence appréciable sur le débit d'eau filtrée et ainsi affecter la qualité de cette eau filtrée. Afin d'éviter cela, un contrôle de l'eau filtrée serait à établir sur la conduite de sortie.

15.5 Construction

Pour la construction d'un filtre lent sur sable, divers points peuvent être distingués, les plus importants étant le bassin lui-même, le plancher des filtres, le lit filtrant, la charge d'eau brute et les conduites d'entrée et de sortie. Une attention doit aussi se porter sur la disposition générale de la station de filtration lente.

En Europe, les filtres lents sur sable sont construits en béton armé ou précontraint sur un plan rectangulaire avec des murs verticaux de 3 à 4 m de hauteur. Ils sont situés,

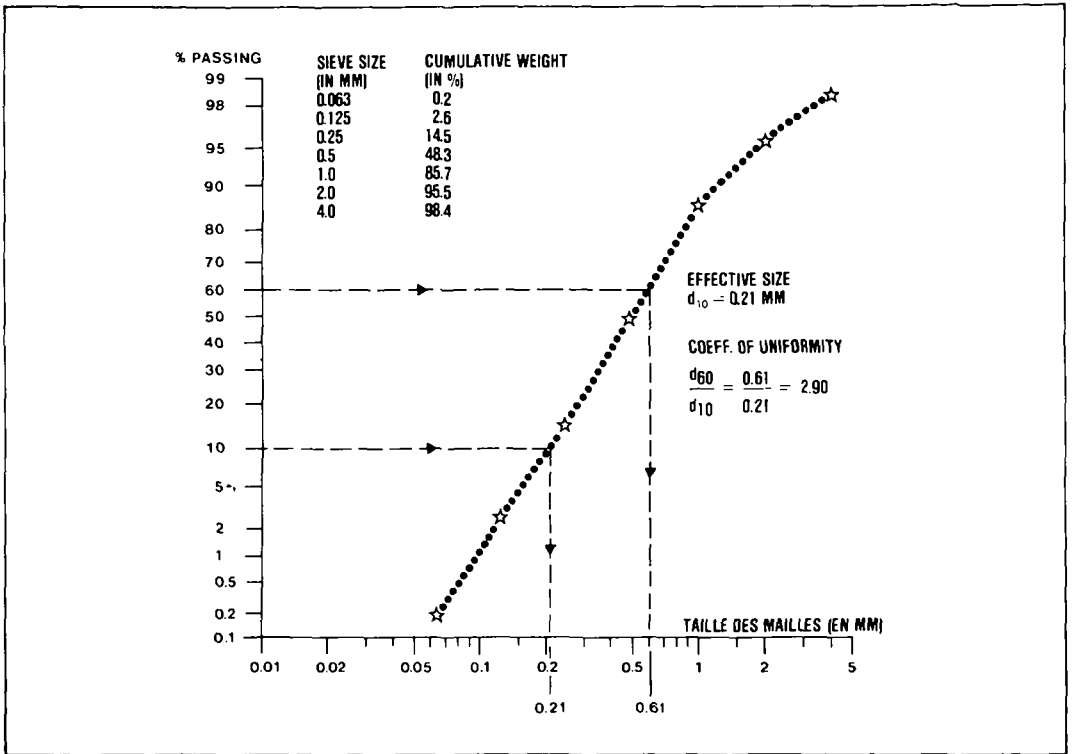


Figure 15.5.
Granulométrie du sable

lorsque cela est possible, au-dessus du plus haut niveau atteint par la nappe d'eau souterraine afin que celle-ci ne puisse être affectée par des infiltrations d'eau polluée à travers des fissures du béton. En Grande Bretagne, des ouvrages tenant par leur poids sont encore très utilisés. Des murs auto-stables sont construits, avec un plancher indépendant, formé d'éléments placés en damier (figure 15.6.).

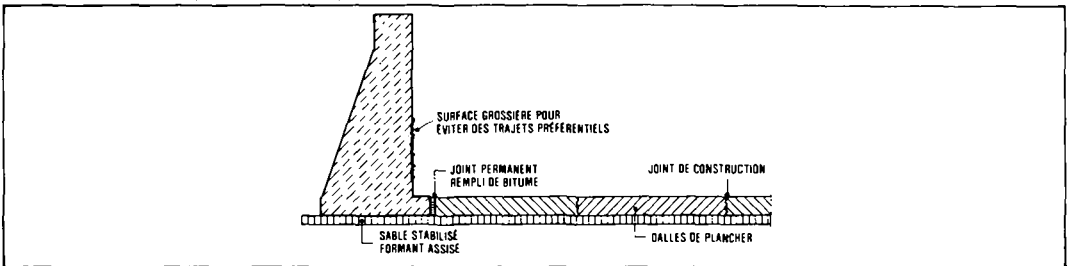


Figure 15.6.
Filtre lent sur sable construit en béton massif

Dans le passé, les filtres lents sur sable étaient construits en maçonnerie sur une fondation en argile corroyée (figure 15.7.). Une telle construction peut être tout à fait appropriée aux zones rurales des pays en voie de développement. Un filtre lent sur sable très simple établi dans le sol est représenté sur la figure 15.8.

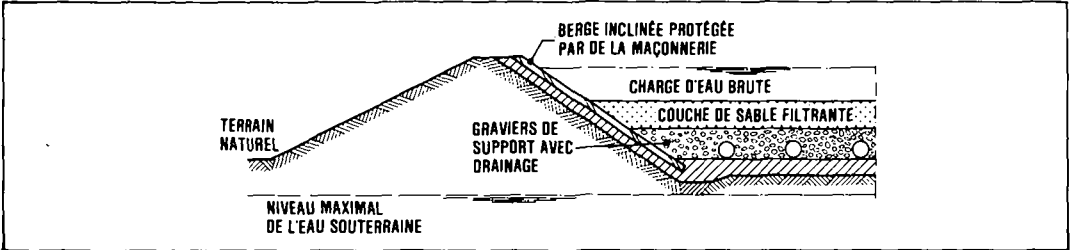


Figure 15.7.
Filtre lent sur sable construit en maçonnerie sur argile corroyée

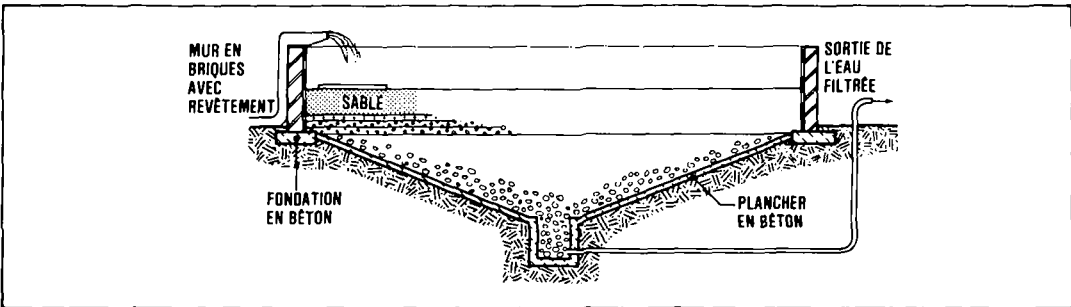


Figure 15.8.
Filtre lent simple sur sable

Selon la capacité de la station de traitement, la surface nécessaire varie de quelques dizaines à plusieurs centaines de m^2 . Il y a une tendance à réduire les dimensions des installations en visant à obtenir une plus grande souplesse de fonctionnement et un nettoyage plus rapide du filtre. Avec un débit maximal de filtration de $0,2 \text{ m}^3/\text{h}$, une station d'une capacité de 2 millions m^3/an avec un coefficient de pointe journalière de 1,2 devrait être équipée d'un lit filtrant de 1370 m^2 . En comptant une unité en réserve (par exemple en nettoyage), ceci implique 4 unités de 460 m^2 chacune de surface ou 6 unités de 270 m^2 chacune. Afin d'assurer une bonne qualité à l'eau filtrée, toute circulation préférentielle le long des parois du filtre doit être évitée. Lorsqu'on utilise du béton armé, le parement intérieur doit être rugueux sur la moitié de la profondeur du lit filtrant. En construisant les parois légèrement inclinées vers l'arrière on facilite beaucoup le contact étroit du lit avec le mur. Une attention minutieuse doit être accordée au niveau de la nappe souterraine. Celle-ci, en hautes eaux, est susceptible de soulever

le bassin et d'endommager la structure du filtre.

Le plancher du filtre sert à la fois à supporter le lit filtrant et à assurer le drainage de l'eau filtrée. Les ouvertures ou les pores du plancher du filtre doivent être assez fins pour ne permettre le passage d'aucun matériau filtrant. La résistance du plancher du filtre au passage de l'eau filtrée (perte de charge) doit être faible. Comme le montre la figure 15.9., il existe divers types de fonds de filtre, par exemple des assemblages de briques et du béton sans fines coulé sur place dans des coffrages métalliques réutilisables.

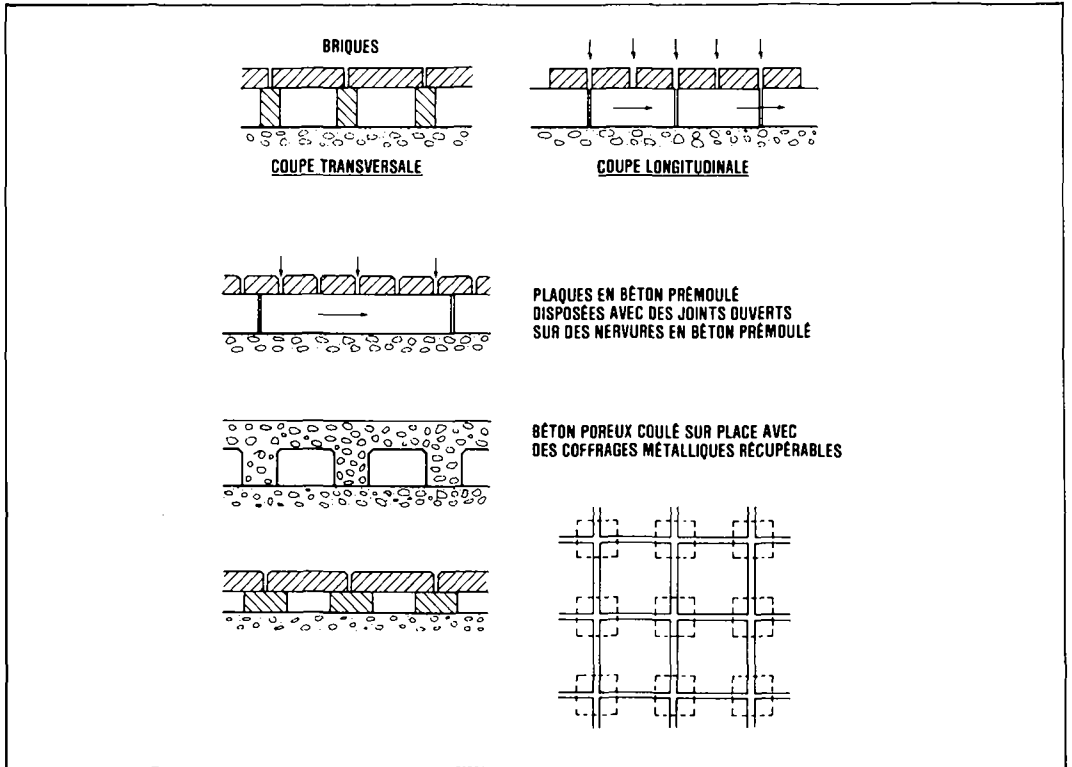


Figure 15.9.
Types de planchers de filtre

Afin de prévenir la pénétration des matériaux filtrants dans le plancher et le colmatage qui s'en suivrait, on peut utiliser une série de couches de graviers calibrés de différentes grosseurs. La couche inférieure comporte des graviers grossiers sur une épaisseur suffisante pour conserver libres les ouvertures du fond du filtre; la couche supérieure sera assez fine

pour que le sable du filtre qui la surmonte ne puisse y pénétrer. Pour les planchers poreux, une couche de 0,1 à 0,2 m d'épaisseur serait suffisante; pour les arrangements de briques avec des joints ouverts (10 mm de large), 4 couches seront nécessaires, par exemple de 0,4 à 0,6 mm, de 1,5 à 2 mm, de 5 à 8 mm et de 15 à 25 mm, chaque couche ayant environ 10 cm d'épaisseur.

Pour les petits filtres, la reprise de l'eau filtrée par des canalisations perforées peut être plus intéressante. Ces canalisations sont reliées à une conduite centrale qui évacue l'eau filtrée. Les conduites perforées peuvent être réalisées en divers matériaux tels que argile vitrifiée (drains en tuyau circulaires ou semi-circulaires), ou fonte; dans la pratique, le fibrociment et le chlorure de polyvinyle sont très utilisés. Des tuyaux poreux fabriqués sur place peuvent être aussi employés avec succès (figure 15.10.). Les drains ont un diamètre intérieur d'environ 80 mm et sont espacés d'environ 1 m; ils ont des trous de 5 mm de diamètre sur la génératrice inférieure, environ 10 trous par mètre. La conduite centrale n'est habituellement pas perforée et doit avoir une section d'environ deux fois la section globale des drains qui lui sont reliés.

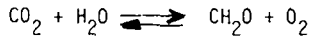


Figure 15.10.
Drains poreux

Les caractéristiques du sable à utiliser pour les filtres lents ont déjà été examinées dans la section 15.4. Lorsqu'on ne dispose pas sur place de sable de la qualité requise, on peut parfois obtenir un sable convenable par mélange intime de deux types de sable. Cependant, il en résultera un lit de sable à granulométrie moins uniforme. Un tamisage supprimant les grains grossiers peut alors être nécessaire pour obtenir du sable ayant l'uniformité requise. L'épaisseur de la couche d'eau brute est liée à la perte de charge maximale admissible qui conditionne à son tour la durée de service du filtre. Il doit y avoir une revanche de 0,2 m au-dessus du niveau maximal de l'eau brute, et le sommet des murs doit être au moins à 0,8 m au-dessus du niveau du sol afin de minimiser la pollution par la poussière, les feuilles, les petits animaux, etc...

Il est indispensable de couvrir le filtre lent sur sable dans les climats froids pour empêcher le gel en hiver. Dans les climats tropicaux la couverture du filtre peut viser à

empêcher la croissance des algues. Dans les filtres ouverts, la réaction photosynthétique



s'effectue de gauche à droite durant les heures de jour avec production d'oxygène (O_2). Durant la nuit, le processus de réaction est inversé et il est consommé de l'oxygène. Comme conséquence, il y a une variation considérable dans le contenu en oxygène de l'eau filtrée avec des valeurs très basses le matin et peut-être même des poches d'eau en anaérobiose à l'intérieur du lit filtrant. Les algues mortes peuvent bloquer le lit filtrant et provoquer un arrêt dans la période normale d'activité du filtre. Une quantité importante d'algues mortes (par exemple en automne) peut être à l'origine de mauvaises odeurs et donner un goût à l'eau filtrée. Dans les climats tropicaux, la période diurne est en général assez courte, environ 12 heures, et la température de l'eau presque constante. La croissance et la mort des algues se produisent alors sensiblement au même rythme. Les inconvénients mentionnés ci-dessus sont alors moins prononcés et il sera possible d'exploiter pleinement les avantages qu'apportent les processus d'auto-épuration (cf. section 15.2.).

De nos jours, les diverses stations de filtration lente sur sable sont en général aménagées en rangées régulières du part et d'autre d'un terre plein où sont établies les conduites d'entrée et de sortie. Entre chaque rangée, des emplacements libres sont maintenus afin de faciliter l'accès et permettre le nettoyage des filtres. Ceux-ci sont fréquemment équipés d'un petit bâtiment annexe contenant les vannes, les appareils de mesure et autres équipements nécessaires pour l'exploitation quotidienne et le contrôle (figure 15.11.).

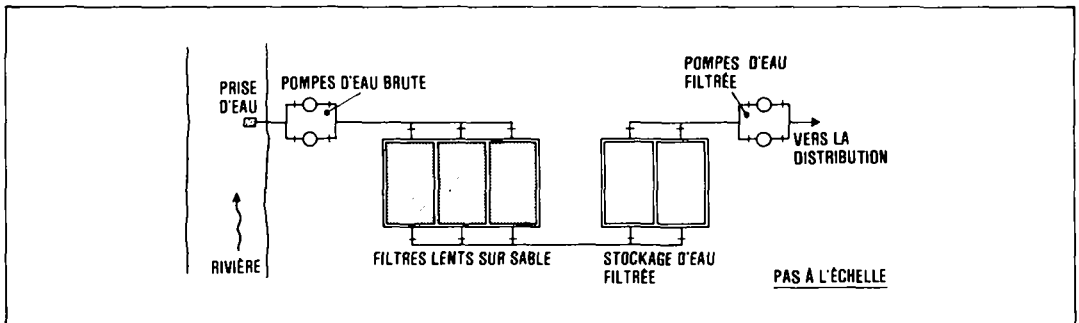


Figure 15.11.
Aménagement d'une station de filtration lente sur sable

15.6 Nettoyage

La méthode de nettoyage d'un filtre lent sur sable qui économise le temps au maximum comporte les opérations ci-après : raclage du sable en surface sur une épaisseur de 1,5 à 2 cm avec des pales à main pour éliminer la couche supérieure polluée. Le mélange de sable et

d'impuretés est rassemblé en billons ou en tas puis porté ou charrié jusqu'au bord du filtre en utilisant des charrettes ou des brouettes roulant sur des planches (figure 15.12.). Il peut être également extrait du filtre, à l'aide de paniers tissés, par des cordes et par un attirail quelconque.

Le sable sale est parfois envoyé à la décharge, (il peut être utilisé pour remblayer des terrains); dans d'autres cas il est nettoyé par lavage (figure 15.13. et 15.14.) si c'est moins coûteux que d'acheter du nouveau sable. Afin de prévenir les putréfactions, le sable doit être lavé immédiatement après avoir été extrait du filtre. On doit faire attention à ne pas trop perdre d'éléments fins durant le lavage.

L'intrusion des impuretés dans un lit filtrant se limite presque exclusivement aux couches supérieures. Le raclage de celles-ci supprime la majeure partie des éléments colmatants mais certaines impuretés restent dans les couches profondes du lit. Ces dépôts s'accumulent petit à petit et pénètrent graduellement plus profondément dans le lit filtrant. Ceci peut provoquer des problèmes si le sable reste longtemps en place. Lorsque, après plusieurs raclages, l'épaisseur minimale du lit filtrant est atteinte, il conviendra d'éliminer du filtre une couche de 0,3 m de sable avant de mettre en place du nouveau sable. La couche de sable éliminée contient tous les organismes nécessaires au fonctionnement biochimique correct du filtre lent et doit être remplacée au-dessus du nouveau sable afin d'accélérer le processus de maturation.

Le travail de nettoyage manuel décrit ci-dessus n'exige aucune technicité ou équipement spécial mais, pour des filtres plus importants, il faut disposer d'un nombre considérable d'ouvriers. Divers systèmes mécaniques de nettoyage de filtres ont été conçus. Malheureusement ils sont trop complexes et coûteux pour être utilisés dans des petites stations de traitement des pays en voie de développement.



Figure 15.12.
Nettoyage manuel d'un filtre lent sur sable

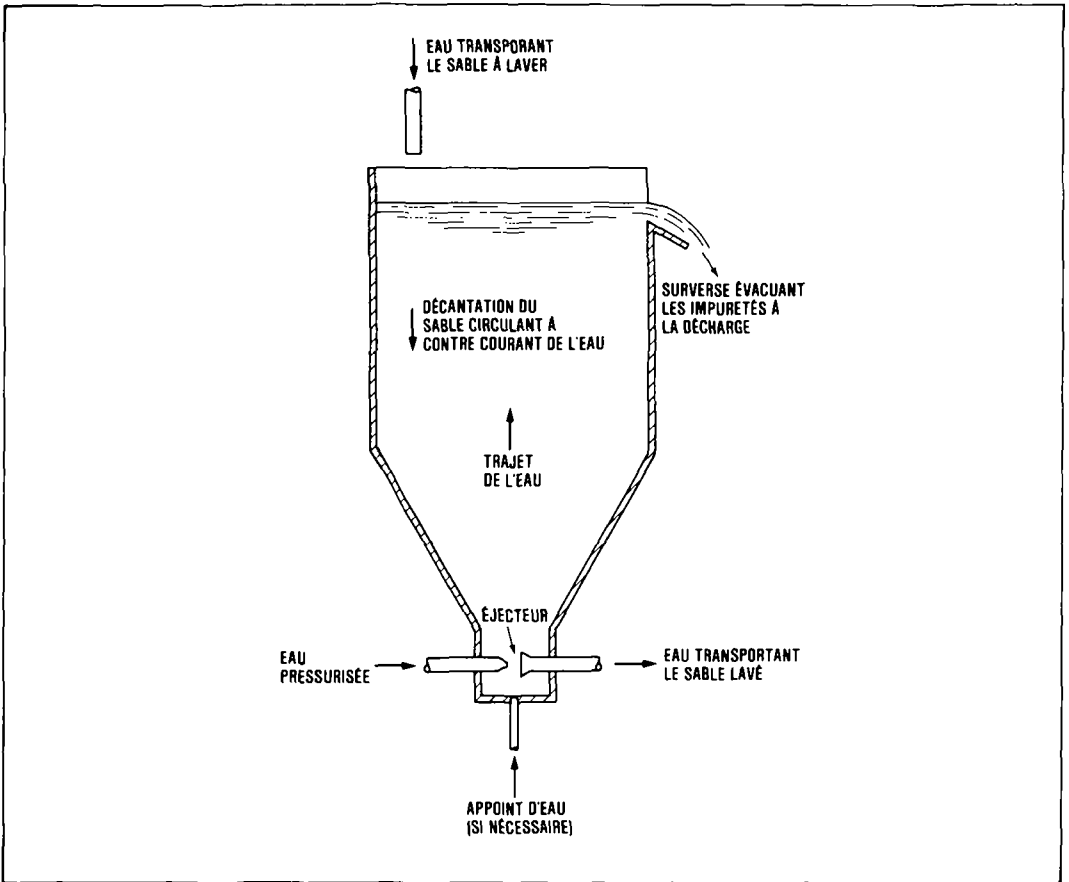


Figure 15.13.
Lavage du sable

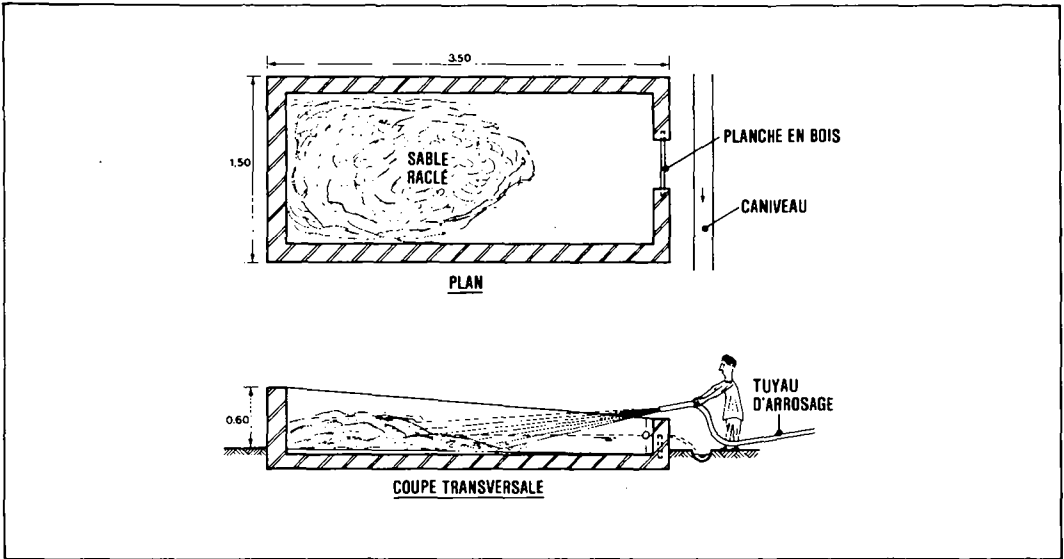


Figure 15.14.
Plateforme de lavage de sable

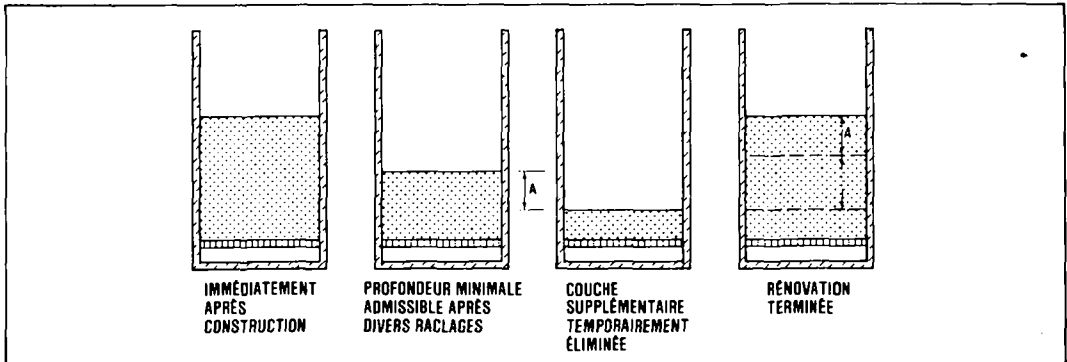


Figure 15.15.
Rénovation d'un filtre lent sur sable

Filtration lente sur sable

Dijk, J.V. van; Oomen, J.H.C.M.
SLOW SAND FILTRATION FOR COMMUNITY WATER SUPPLY IN DEVELOPING
COUNTRIES - A DESIGN AND CONSTRUCTION MANUAL
International Reference Centre for Community Water Supply
The Hague, 1978, (Technical Paper No. 11)

Frankel, R.J.
EVALUATION OF LOW-COST WATER FILTERS IN RURAL COMMUNITIES OF
THE LOWER MEKONG BASIN
Asian Institute of Technology, Bangkok, 1974

Huisman, L.; Woods, W.E.
SLOW SAND FILTRATION
World Health Organisation, Geneva 1974, 122 p.

Institution of Water Engineers
MANUAL OF BRITISH WATER SUPPLY PRACTICE
Heffer & Sons Ltd., Cambridge, 1950

Thanh, N.C.; Pescod, M.B.
APPLICATION OF SLOW SAND FILTRATION FOR SURFACE WATER TREATMENT
IN TROPICAL DEVELOPING COUNTRIES
Asian Institute of Technology, Bangkok, 1976
(Environmental Engineering Division Research Report No. 65)

Wright, F.B.
RURAL WATER SUPPLY AND SANITATION
John Wiley & Sons, Chapman & Hall, New York, 1956

16. filtration rapide

16.1 Introduction

Comme il a été expliqué dans le précédent chapitre concernant les filtres lents sur sable, la filtration est un processus de purification de l'eau par passage à travers un matériau poreux. Pour la filtration rapide, le sable est communément utilisé comme matériau filtrant (1) mais le processus est complètement différent de la filtration lente sur sable. Ainsi, une grande quantité de sable grossier est utilisée avec une taille effective de grain de 0,4 à 1,2 mm, et le débit de filtration est très élevé, généralement entre 5 et 15 m³/m²/h (120-360 m³/m²/jour). Etant donné le sable grossier utilisé, les pores du lit filtrant seront relativement importants et les impuretés contenues dans l'eau brute pénétreront en profondeur dans le lit. Ainsi la capacité du lit filtrant de stocker les dépôts d'impuretés est beaucoup plus efficacement utilisée et même une eau de rivière très turbide peut être traitée par filtration rapide. Pour nettoyer un lit filtrant rapide, il n'est pas suffisant de racler la couche supérieure. Le nettoyage est réalisé par un lavage à contre-courant. Cela s'effectue avec un fort débit d'eau envoyé à contre-courant à travers le lit filtrant; celui-ci se gonfle et se trouve lavé. L'eau de lavage évacue hors du filtre les dépôts qu'il contenait. Le nettoyage d'un filtre rapide peut s'effectuer rapidement; cela ne prend pas plus d'une demi-heure. Il peut être fait aussi souvent qu'il est utile, chaque jour si nécessaire.

Applications de la filtration rapide

On relève plusieurs applications de la filtration rapide dans le traitement de l'eau d'alimentation.

Pour le traitement de l'eau souterraine, la filtration rapide est utilisée afin d'éliminer le fer et le manganèse. Pour assister le processus de filtration, on procède fréquemment, à titre de prétraitement, à une aération qui produit des composants insolubles du fer et du manganèse (figure 16.2.).

Pour une eau de faible turbidité, comme on en trouve fréquemment dans les lacs et parfois dans les rivières, la filtration rapide peut produire une eau claire qui, cependant, peut encore contenir des bactéries pathogènes et des virus. Un traitement final tel que la chloration est alors nécessaire pour obtenir une eau bactériologiquement pure.

Dans le traitement de l'eau de rivière à forte turbidité, la filtration rapide peut être utilisée comme un pré-traitement pour réduire la charge sur des filtres lents sur sable placés à la suite (figure 16.3.), ou elle peut être appliquée sur de l'eau traitée qui a été

(1) Anthracite, coquilles brisées de noix de coco, pierre ponce et divers autres matériaux sont également utilisés, spécialement dans les lits filtrants multi-couches où une ou plusieurs couches de ces matériaux sont placées au-dessus d'un lit de sable peu épais.

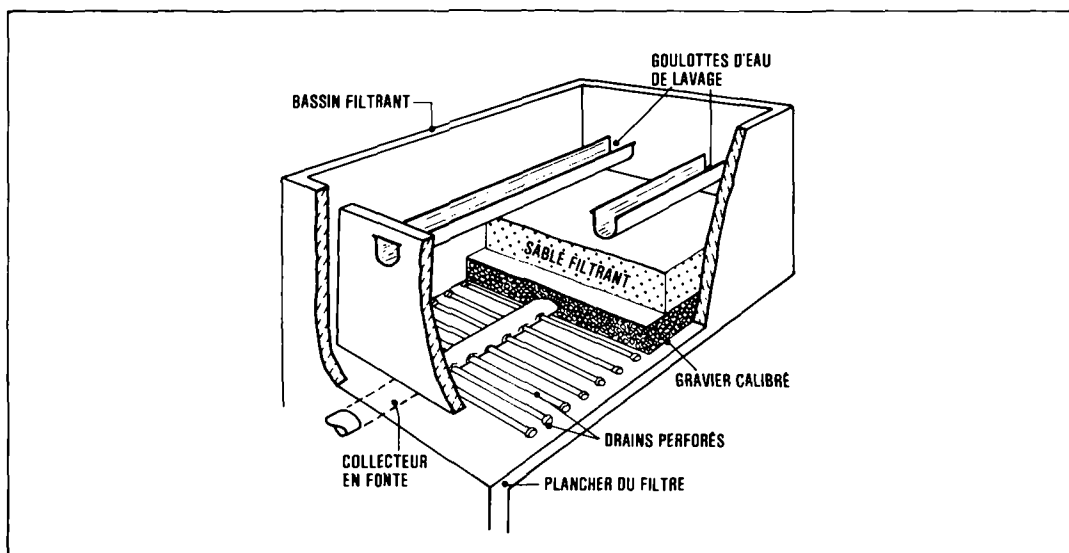


Figure 16.1.
Filtre rapide (non couvert, type par gravité)

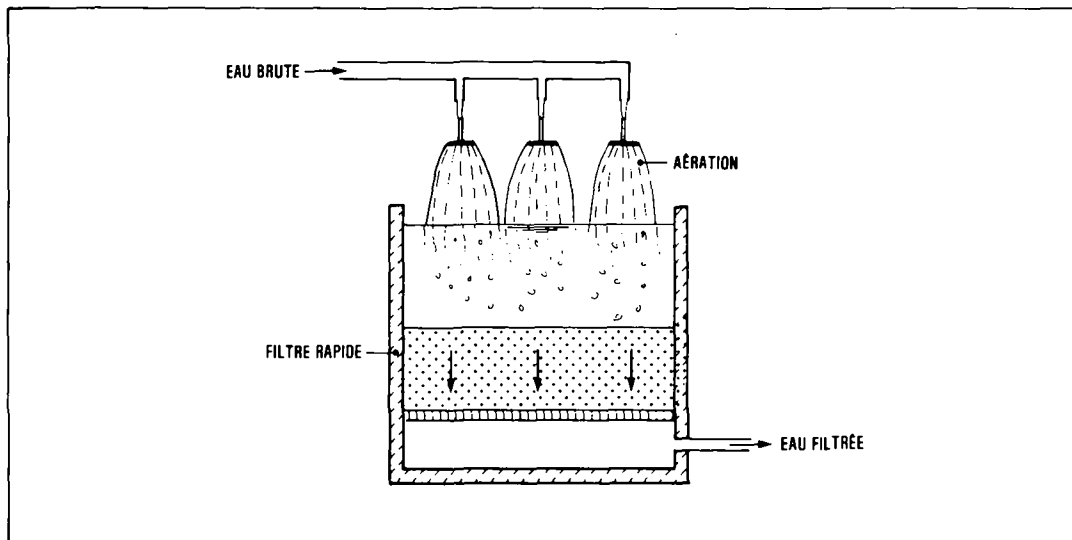


Figure 16.2.
Filtration rapide d'eau pré-traitée (aérée)

clarifiée par coagulation, floculation et sédimentation (figure 16.4.). Dans de tels cas une chloration finale est nécessaire.

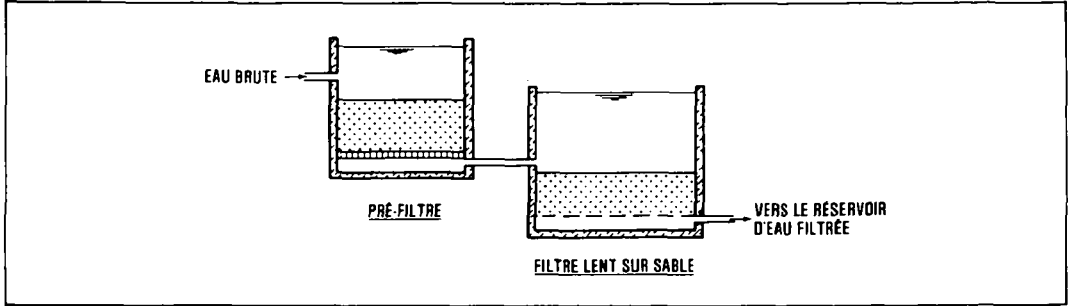


Figure 16.3.
Filtration rapide suivie par une filtration lente sur sable

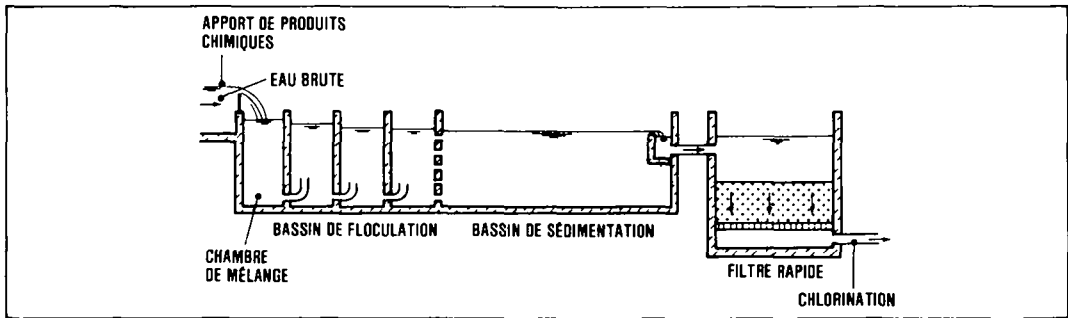


Figure 16.4.
Filtration rapide après coagulation, floculation et sédimentation

Types de filtres rapides

Les filtres rapides sont la plupart du temps construits sans couverture, l'eau s'écoulant dans le filtre par gravité (figure 16.1.).

Pour certaines conditions de fonctionnement, il est préférable d'utiliser d'autres types de filtres rapides. Les plus importants sont : les filtres sous pression, les filtres à courant ascendant et les filtres à couches multiples.

Les filtres sous pression (figure 16.5.) sont construits comme des filtres du type par gravité mais le lit filtrant ainsi que le plancher du filtre sont inclus dans une capacité métallique fermée étanche à l'eau et pouvant être mise en pression. L'énergie permettant la

mise en oeuvre du processus de filtration est ici la pression de l'eau appliquée sur le lit filtrant. Cette pression peut être choisie de façon à obtenir une durée de fonctionnement continu déterminée. Les filtres sous pression sont disponibles sur le marché par unités complètes. Ils ne sont pas si faciles à installer, à exploiter et à entretenir que les filtres opérant par gravité. Pour cette raison, ils ne sont pas conseillés pour les petites stations de traitement dans les pays en voie de développement.

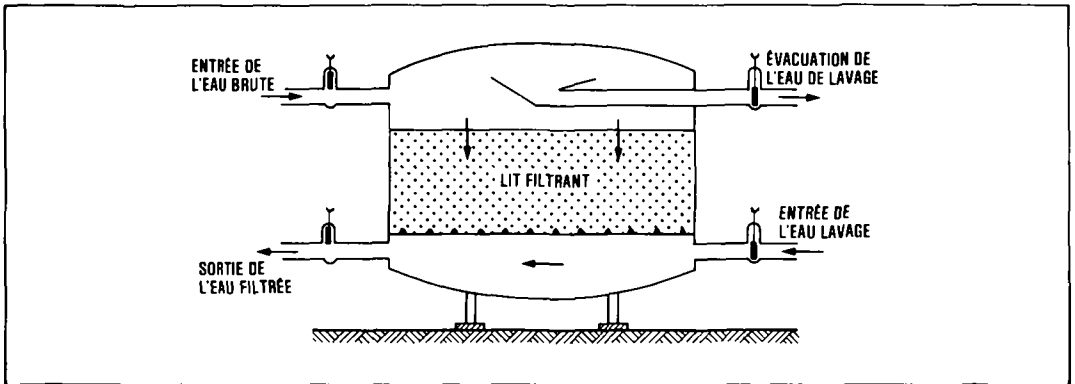


Figure 16.5.
Filtre sous pression

Les filtres à courant ascendant (filtre 16.6.) peuvent être utilisés pour un processus de filtration allant d'une filtration grossière à une filtration fine. La couche inférieure du fond des lits filtrants constituée du sable grossier élimine la majeure partie des impuretés en suspension, même dans une eau brute turbide, sans augmenter la résistance du lit filtrant, du fait de l'importance des pores. Les couches fines situées au-dessus ont des pores plus petits, mais la résistance du filtre au niveau de ces couches n'augmentera que lentement, car il ne reste alors plus beaucoup d'impuretés à filtrer.

Dans les filtres ascendants, le sable est utilisé comme seul milieu filtrant. Ils sont fréquemment mis en oeuvre pour le pré-traitement de l'eau qui est ensuite envoyée sur des filtres rapides opérant par gravité ou sur des filtres lents sur sable. Dans de tels cas, les filtres à courant ascendant peuvent donner d'excellents résultats et être bien adaptés pour les petites stations de traitement.

Un inconvénient est que la résistance admissible pour un filtre ascendant n'est pas supérieure au poids du lit filtrant submergé. Avec du sable comme milieu filtrant, la charge résistante disponible est sensiblement égale à l'épaisseur du lit. Pour une eau de rivière très turbide, la période d'activité continue possible et le débit admissible pour la filtration sont ainsi très limités.

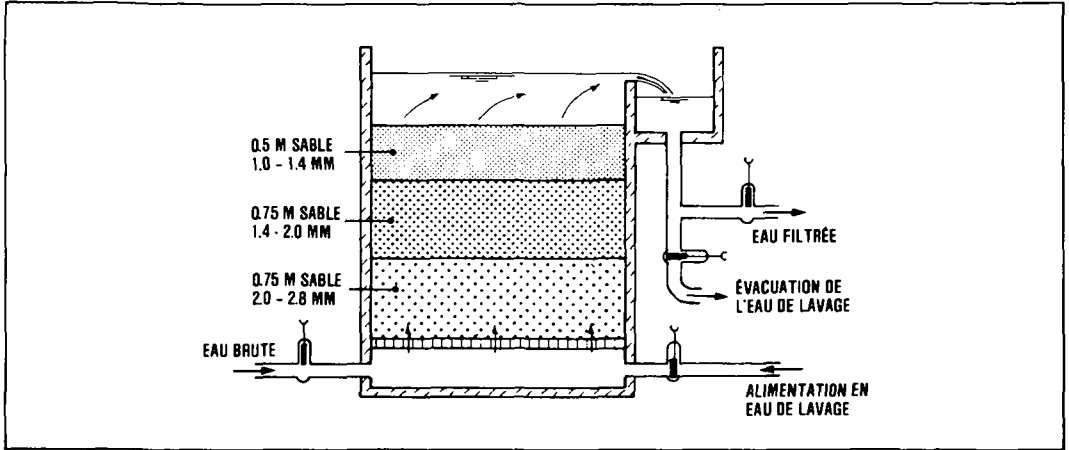


Figure 16.6.
Filtre à courant ascendant

Les filtres à couches multiples (figure 16.7.) fonctionnent par gravité, avec un courant dirigé de haut en bas traversant plusieurs couches de matériaux différents allant, dans le sens de l'écoulement, du plus grossier au plus fin. Pour les filtres rapides de petite taille, il est courant de n'utiliser que deux matériaux : une sous-couche du sable de 0,3 à 0,5 m avec une dimension de grains de 0,4 à 0,7 mm, recouverte par une couche de 0,5 à 0,7 m d'antracite pierre ponce ou coques brisées de noix de coco de 1,0 à 1,6 mm. Employés comme traitement final, les filtres à couches multiples peuvent donner d'excellents résultats et, lorsque les matériaux convenables sont localement disponibles, ils peuvent être conseillés pour de petites stations de traitement.

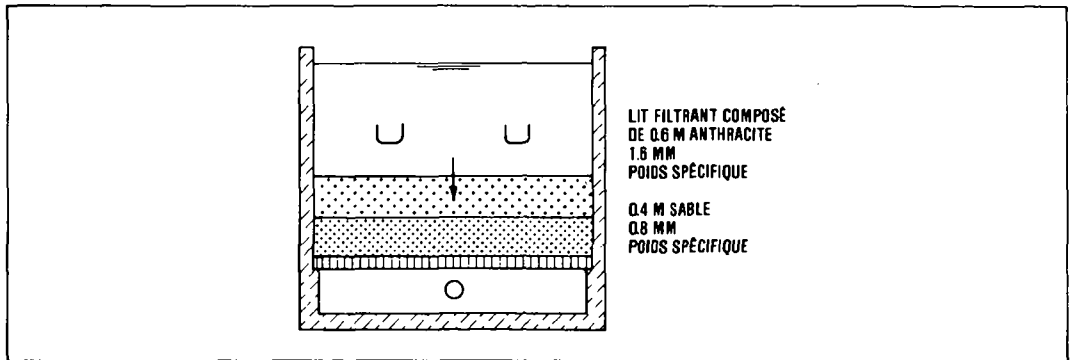


Figure 16.7.
Lit filtrant à deux couches

16.2 Aspects théoriques

L'élimination globale des impuretés de l'eau réalisée dans une filtration rapide, résulte de la combinaison de plusieurs processus différents. Les plus importants sont : le tamisage, la sédimentation, l'adsorption, et les processus bactérien et bio-chimique. Ce sont ceux qui ont été déjà décrits pour la filtration lente sur sable (sous-chapitre 15.2.). Dans la filtration rapide, cependant, le matériau du lit filtrant est très grossier et le débit de filtration très élevé (plus de 50 fois supérieur à celui de la filtration lente sur sable). Il en résulte une modification complète de l'importance relative des différents processus d'épuration. Le tamisage des impuretés dans un filtre rapide est très limité étant donné les pores relativement grands des matériaux du lit.

La sédimentation ne sera pas très efficace étant donné l'importance des débits. Ainsi la filtration rapide retiendra beaucoup moins d'impuretés par des actions de tamisage et de sédimentation que la filtration lente sur sable. Spécialement les couches supérieures du lit filtrant seront de loin les moins efficaces et il y aura une profonde pénétration des impuretés dans tout le lit du filtre rapide.

L'effet de purification de loin le plus important dans la filtration rapide est l'adsorption des impuretés ayant une charge électrique sur les grains du lit filtrant affectés d'une charge électrique opposée. Dans un filtre rapide, les charges électriques statiques naturelles des matériaux du lit filtrant seront augmentées du fait des charges électro-cinétiques produites par l'important écoulement de l'eau. Les particules chargées ("ions") sont arrachées aux grains du lit filtrant, ce qui les laisse avec une charge opposée. L'effet électro-cinétique renforce de manière importante l'action d'adsorption.

Dans un filtre lent sur sable, l'eau demeure plusieurs heures; avec la filtration rapide, l'eau passe en quelques minutes seulement. Les éléments organiques colmatants accumulés dans un filtre rapide sont fréquemment éliminés par les opérations de lavage à contre-courant. Il y a très peu de temps et peu d'occasions pour que se développe une bio-dégradation de la matière organique et pour que les bactéries pathogènes et les virus soient tués. La limitation de la dégradation de la matière organique ne constitue pas un inconvénient important puisque les éléments colmatants accumulés seront évacués du filtre durant le lavage à contre-courant. L'activité bactériologique et bio-chimique d'un filtre rapide sera généralement insuffisante pour produire une eau saine bactériologiquement. Un traitement ultérieur tel que la filtration lente sur sable ou la chloration sera nécessaire à la production d'une eau convenable pour la boisson et les usages domestiques.

16.3 Fonctionnement et surveillance d'un filtre rapide

Fonctionnement du filtre

Le fonctionnement d'un filtre rapide (type par gravité) est représenté schématiquement sur la figure 16.8.

L'eau entre dans le filtre à travers la vanne A, s'écoule vers le bas à travers le lit filtrant, passe par le plancher du filtre, est reprise par le dispositif de drainage, et sort par la vanne B. Etant donné le colmatage graduel des pores, la résistance du lit filtrant à l'égard du débit d'eau descendant augmente graduellement. Cela réduit le débit, à moins que l'effet ne soit compensé par une augmentation du niveau d'eau brute au-dessus du lit filtrant. Les filtres rapides sont conçus fréquemment pour fonctionner avec un niveau constant d'eau brute; cela exige que le filtre soit équipé d'un moyen de réglage du débit, soit sur la conduite d'entrée, soit sur la conduite de sortie. Ces dispositifs de réglage des débits du filtre permettent d'adapter la résistance au débit de l'eau. Ils s'ouvrent graduellement et automatiquement pour compenser l'augmentation de la résistance du lit filtrant et conservent ainsi constantes les conditions de fonctionnement du filtre rapide.

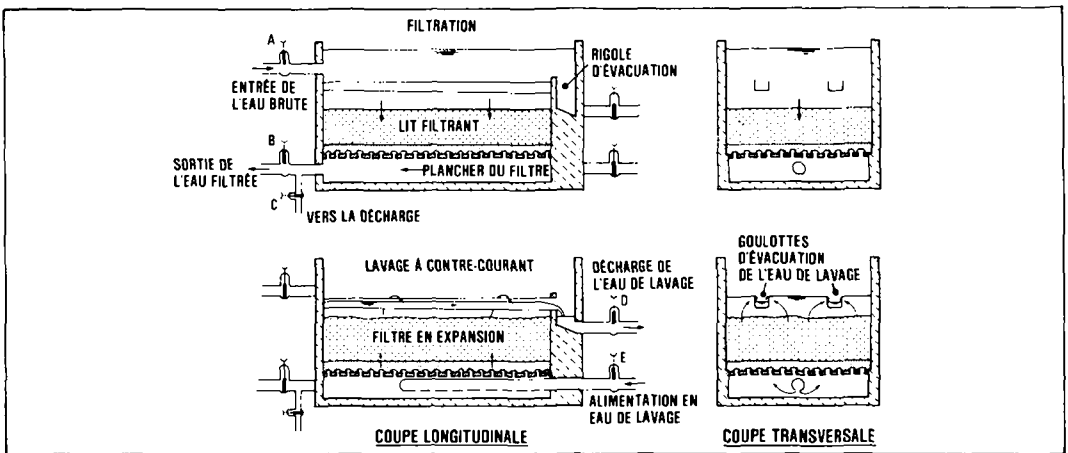


Figure 16.8.
Filtre rapide (type par gravité)

Lorsqu'après quelque temps de fonctionnement, le dispositif d'admission de l'eau est totalement ouvert, un engorgement ultérieur du lit filtrant ne peut être compensé et le débit de filtration diminuera. Le filtre est alors mis hors de service pour un lavage à contre-courant. Pour cela, les vannes A et B sont fermées, et la vanne D est ouverte pour évacuer le reste de l'eau brute à l'extérieur du filtre. Un peu plus tard, la vanne E est ouverte pour admettre l'eau de lavage. Le débit d'eau de lavage doit être suffisant pour détendre le lit filtrant et permettre le lavage des grains du lit. Les éléments colmatants accumulés sont évacués à l'extérieur avec l'eau de lavage. Cette dernière est récupérée dans des goulottes par lesquelles elle est évacuée vers la décharge. Lorsque le lavage à contre-courant est terminé, les vannes E et D sont fermées et la vanne A est réouverte, permettant l'entrée de l'eau brute qui enclenche une nouvelle période de fonctionnement du filtre.

Pour certains matériaux fins du lit filtrant, le nettoyage produit par l'eau durant

le lavage à contre-courant peut être, sur une longue période, insuffisant pour conserver propre le lit filtrant. Il est alors conseillé d'effectuer un lavage supplémentaire utilisant à la fois l'air et l'eau. Ceci, cependant, est beaucoup plus complexe que le lavage à contre-courant n'utilisant que l'eau, et le lavage à l'air et à l'eau n'est pas en général à recommander pour les petites stations de traitement.

Surveillance du filtre

Il y a plusieurs types de dispositifs de contrôle des débits de filtration : contrôle du débit à l'entrée (distribution à débit constant) et contrôle du débit à la sortie (vannes liées à un niveau, déversoirs, et siphons). Les moyens de contrôle du débit du filtre peuvent se rattacher à trois groupes :

1. Chaque filtre a un dispositif de contrôle de débit individuel qui maintient la production de l'eau filtrée à la quantité désirée.
2. Le débit total de l'eau à travers la station de filtration est contrôlé par le débit à la prise d'eau brute, ou par le débit de sortie de l'eau filtrée.
3. Comme dans le cas précédent, mais les unités de filtration fonctionnent de façon indépendante avec des débits décroissants.

Les dispositifs de contrôle individuel du flux permettent à chaque unité filtrante de fonctionner à son débit de filtration optimal (figure 16.9.). Cet avantage, cependant, n'est pas très important et ces dispositifs sont généralement très chers et difficiles à entretenir.

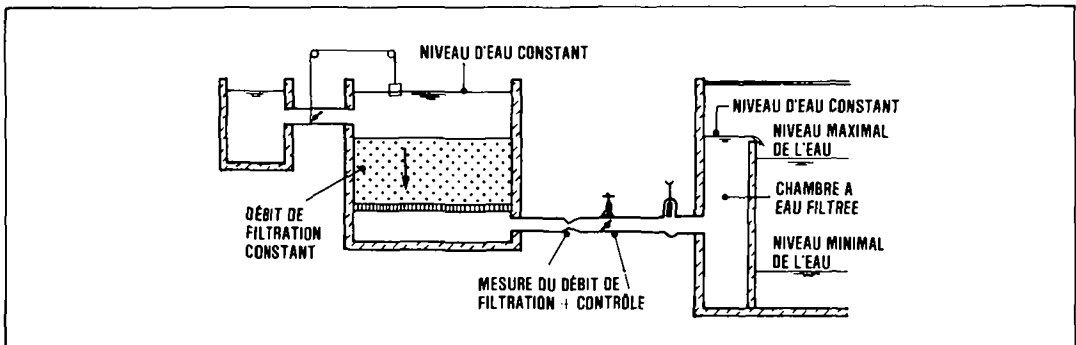


Figure 16.9.
Contrôle du débit du filtre

Les dispositifs de contrôle du filtre utilisant une distribution homogène d'eau brute sur les unités filtrantes ou un prélèvement uniforme à la prise d'eau filtrée sont très utilisés

en Europe et en Amérique du Nord. Diverses méthodes peuvent être employées. L'une d'elles est présentée sur la figure 16.10b; c'est probablement la plus simple car il n'y a aucune partie mobile. Dans ce système, l'eau brute pénètre dans le filtre par un déversoir. Pour tous les filtres la crête du déversoir est au même niveau. La conduite d'eau brute alimentant les unités de filtration est largement calculée de manière que l'eau puisse s'écouler pratiquement sans perte de charge. Le niveau d'eau dans les conduites d'alimentation sera pratiquement le même devant chaque seuil. Ainsi, le débit de surverse après chaque seuil sera le même, et l'alimentation en eau brute dans les unités de filtration sera également répartie.

Le débit de la filtration peut être contrôlé de la même manière pour toutes les unités de filtration à partir du débit d'alimentation en eau brute. Il peut être facilement ajusté afin de correspondre à la demande d'eau filtrée. Dans cet aménagement, il y aura des variations considérables du niveau de l'eau brute dans les filtres, ce qui peut poser des problèmes. S'il en est ainsi, un autre aménagement (figure 16.10c), peut être proposé. Ici, la vanne contrôlée par un flotteur maintient constant le niveau d'eau brute dans chaque filtre.

Fréquemment, les filtres rapides sont employés pour traiter de l'eau qui a été pré-traitée par coagulation, floculation et sédimentation, ils servent alors à retenir les floccs qui ont été entraînés à la sortie des bassins de décantation. On doit éviter toute destruction de ces floccs; les entrées comportant des déversoirs mentionnées ci-dessus ne sont pas alors adaptées. L'aménagement consigné dans la figure 16.10a devrait être bien meilleur. Chaque filtre est équipé d'un puits à flotteur dans lequel le niveau de l'eau est conservé constant, au même niveau dans toutes les unités de filtration, grâce à une vanne contrôlée par un flotteur. Le canal de sortie devra être largement dimensionné pour assurer un même niveau d'eau à chaque sortie du filtre. Le débit global fourni par l'ensemble des filtres peut ainsi être réglé par le débit d'évacuation de l'eau filtrée.

Filtration à débit décroissant

Lorsqu'aucune régulation du débit de filtration n'est utilisée, le débit de filtration diminuera progressivement. La conception de tels filtres à débit décroissant est alors beaucoup plus simple que pour les filtres comportant une régulation du débit. De simples traverses en bois ou des portes peuvent être utilisées pour le contrôle du filtre (figure 16.11.).

Tous les filtres sont directement reliés à la fois aux conduites d'eau brute et aux conduites d'eau filtrée. Par conséquent, les niveaux d'eau brute et les niveaux d'eau filtrée sont les mêmes pour tous et tous les filtres fonctionnent avec la même charge. Le débit de filtration pour les diverses unités sera cependant différent, il sera le plus élevé dans le filtre qui vient d'être nettoyé à contre-courant et le plus bas dans celui pour lequel il s'est écoulé le plus de temps depuis ce lavage. Pour tous les filtres pris globalement, la production sera déterminée par l'alimentation en eau brute qui devra être suffisante pour faire face à la demande d'eau filtrée. Au cours de la filtration, les lits se colmatent peu à peu et le niveau

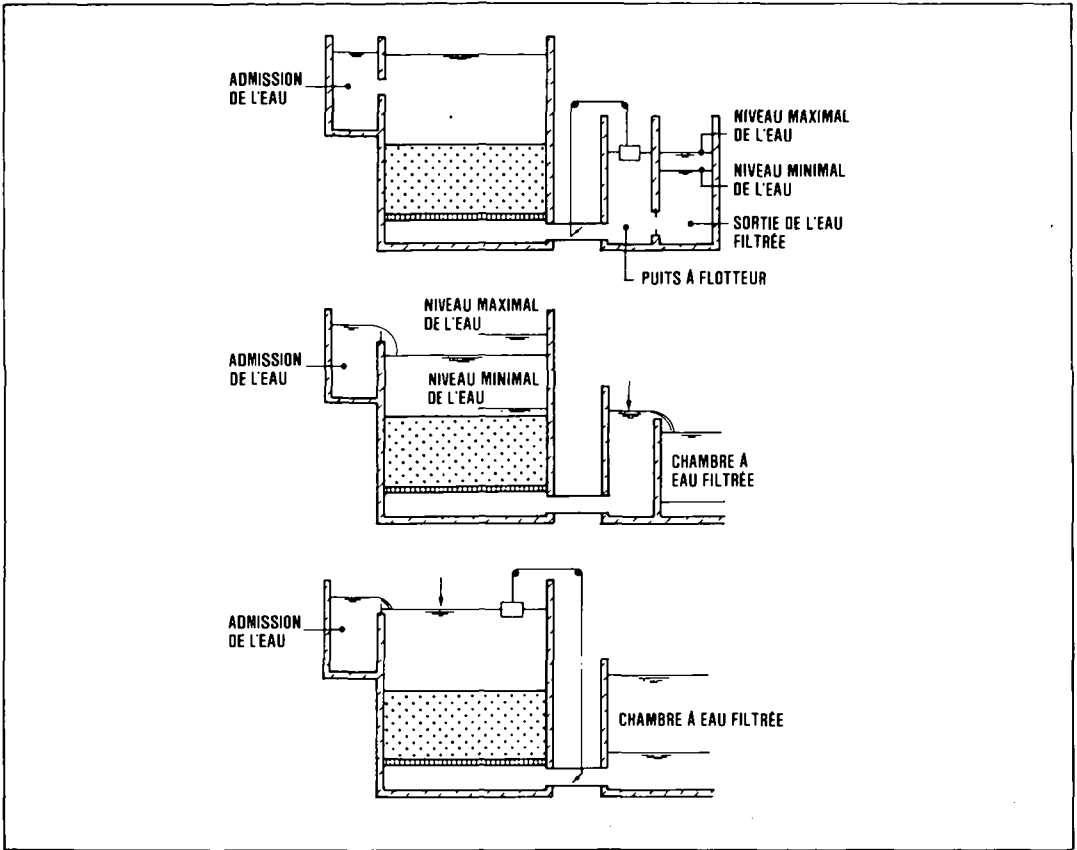


Figure 16.10
Systèmes de régulation du filtre

de l'eau brute augmente du fait de l'accroissement de la résistance à l'écoulement. L'unité de filtration en fonctionnement depuis la plus longue période de temps atteindra probablement la première le niveau maximal autorisé pour l'eau brute, et devra subir un nettoyage à contre-courant.

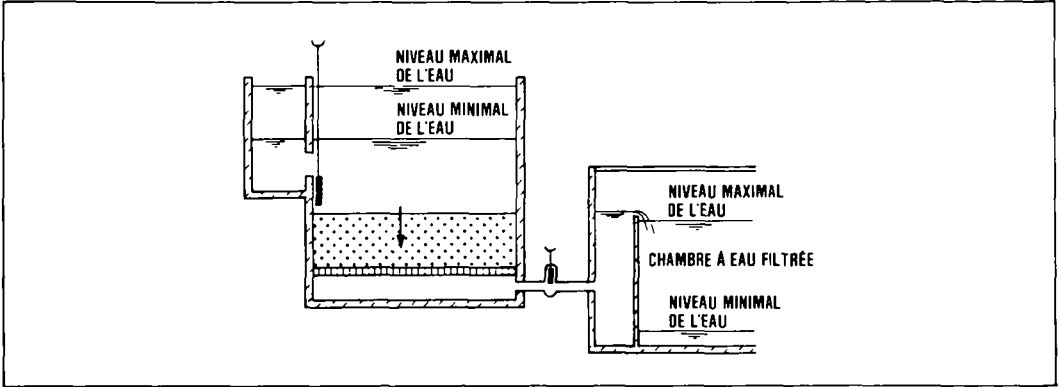


Figure 16.11.
Filtration à débit décroissant

Après son nettoyage ce filtre aura la plus faible résistance face au débit et une quantité considérable d'eau brute s'écoulera par ce filtre. La charge sur les autres filtres est réduite de façon temporaire. On constatera sur ces unités une chute du niveau de l'eau brute; plus tard le colmatage des lits filtrants provoquera une montée du niveau de l'eau brute. Lorsque, dans un second filtre, le niveau maximal de l'eau brute est atteint, le filtre sera nettoyé à contre-courant et ainsi de suite.

Si aucune mesure spéciale n'est prise, le débit de la filtration dans un filtre à débit décroissant peut être très élevé juste après le nettoyage, jusqu'à $25 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$, ce qui est très supérieur à la moyenne de $5 \text{ à } 7 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$. Lorsqu'il est nécessaire de limiter le débit de filtration pour sauvegarder la qualité de l'eau potable, un dispositif supplémentaire destiné à accroître la résistance à l'écoulement (tel qu'un ajustage) sera installé dans la conduite d'entrée.

Pour les filtres sous pression, la filtration à débit décroissant est une pratique courante. Pour les filtres rapides du type par gravité, son application s'étend progressivement en Grande-Bretagne, en Amérique Latine et aussi, mais de façon limitée, en Amérique du Nord. Etant donné sa simplicité, la filtration à débit décroissant est certainement à prendre en considération pour les petites stations de traitement d'eau dans les pays en développement.

16.4 Considérations relative à la conception

Pour la conception d'un filtre rapide, quatre paramètres doivent être choisis :

- la taille du grain du matériau filtrant,
- l'épaisseur du lit filtrant,
- la hauteur de la nappe d'eau brute au-dessus du lit,
- le débit de filtration.

Ces facteurs doivent, dans toute la mesure du possible, être basés sur l'expérience obtenue dans les stations existantes qui traitent la même eau brute ou une eau comparable. Lorsqu'une telle expérience n'existe pas, la conception doit être basée sur les résultats obtenus avec une station pilote fonctionnant avec des filtres expérimentaux (voir annexe 3).

Aménagements pour le lavage à contre courant

Un filtre rapide est nettoyé à contre-courant par un flux d'eau propre qui le traverse en montant à travers le lit filtrant pendant quelques minutes. L'eau filtrée peut avoir été accumulée par pompage dans un réservoir surélevé; elle peut aussi provenir des autres unités de filtration (fonctionnement en auto-lavage). La vitesse de l'écoulement ascensionnel de l'eau doit être suffisante pour produire une expansion du lit filtrant telle que les éléments colmatants accumulés puissent être extraits et évacués avec l'eau de lavage (figure 16.12.).

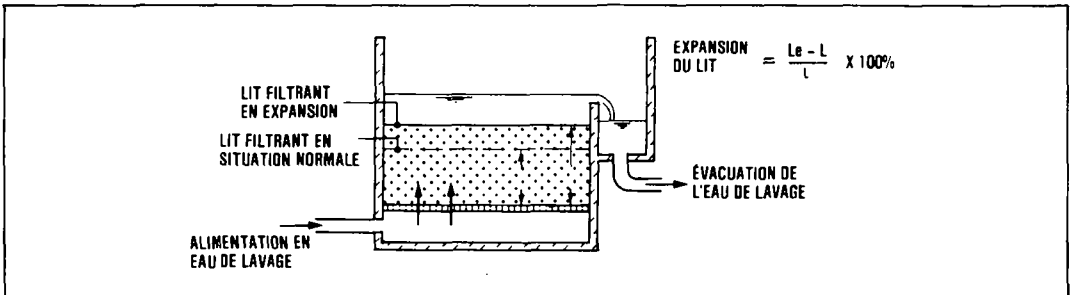


Figure 16.12.
Lavage à contre-courant d'un filtre rapide

Pour un lit filtrant de sable (poids spécifique : $2,65 \text{ g/cm}^3$), les débits types d'eau de lavage à contre-courant procurant une expansion d'environ 20 % sont donnés dans le tableau 16.1.

Tableau 16.1.
Débits types pour le lavage à contre courant

d mm	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2
	Débit d'eau de lavage à contre-courant (m ³ /m ² /heure)								
10° C	12	17	22	28	34	40	47	54	62
20	14	20	26	33	40	48	56	64	73
30	16	23	30	38	47	56	65	75	86

d = taille moyenne des grains de sable du filtre

t = température de l'eau de lavage à contre-courant

v = débit d'eau de lavage à contre-courant (m³/m²/heure)

Si l'eau de lavage est fournie par des pompes, on prévoira trois pompes (dans les très petites installations deux suffisent), dont une est en réserve. Pour de forts débits de lavage à contre-courant et des lits filtrants de grande surface, ces pompes doivent avoir une grande capacité; leur installation et leur fonctionnement sont alors assez coûteux. On préférera un réservoir d'eau de lavage comme celui qui est présenté sur la figure 16.13.; de petites pompes seront suffisantes pour le remplir durant les intervalles entre les lavages successifs. Le réservoir aura en général une capacité entre 3 et 6 m³/m² de surface de lit filtrant et il sera établi à environ 4 à 6 m. au-dessus du niveau d'eau dans le filtre.

Pour le pompage de l'eau dans le réservoir d'eau de lavage, on disposera en général de trois pompes, dont une en réserve. La capacité totale des deux pompes en fonctionnement doit être d'environ 10 à 20 % du débit d'alimentation en l'eau de lavage. Un bassin ou réservoir spécial d'eau de lavage n'est pas nécessaire lorsque l'eau de lavage est prise au réservoir d'eau filtrée d'un système de distribution. Cependant, il peut en résulter des fluctuations de pression indésirables dans le système de distribution, imputables aux prises d'eau périodiques.

Une solution plus simple est d'accroître la hauteur de l'eau sur le lit filtrant et de limiter la résistance maximale du filtre. L'eau filtrée sera alors disponible avec une charge de quelque 1,5 à 2 m. au-dessus du lit filtrant, ce qui devrait être suffisant. Les unités en service de la station de filtration doivent fournir suffisamment d'eau pour que l'on puisse obtenir le débit nécessaire d'eau de lavage. Pour cette raison, une station de filtration rapide, utilisant cet aménagement pour l'eau de lavage, doit avoir au moins six unités de filtration. L'eau de lavage est admise à l'intérieur du lit filtrant à travers le plancher du filtre. Pour répartir cette eau de façon homogène sur toute la surface du lit filtrant, le plancher du filtre doit fournir une résistance suffisante au passage de l'eau de lavage (correspondant à 0,6 à 1,0 m. de charge d'eau).

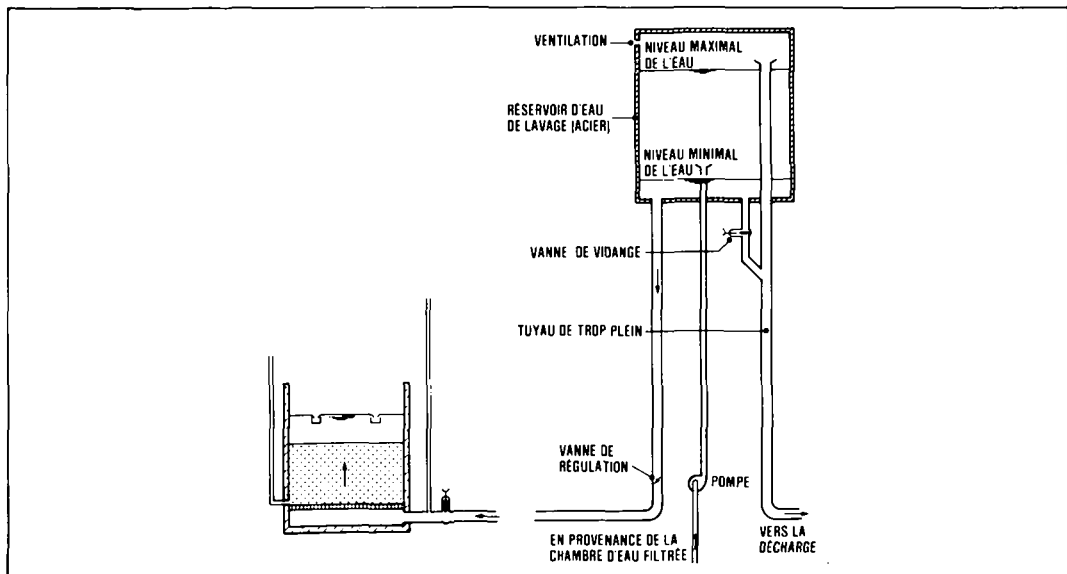


Figure 16.13.
Aménagement d'un réservoir pour l'eau de lavage

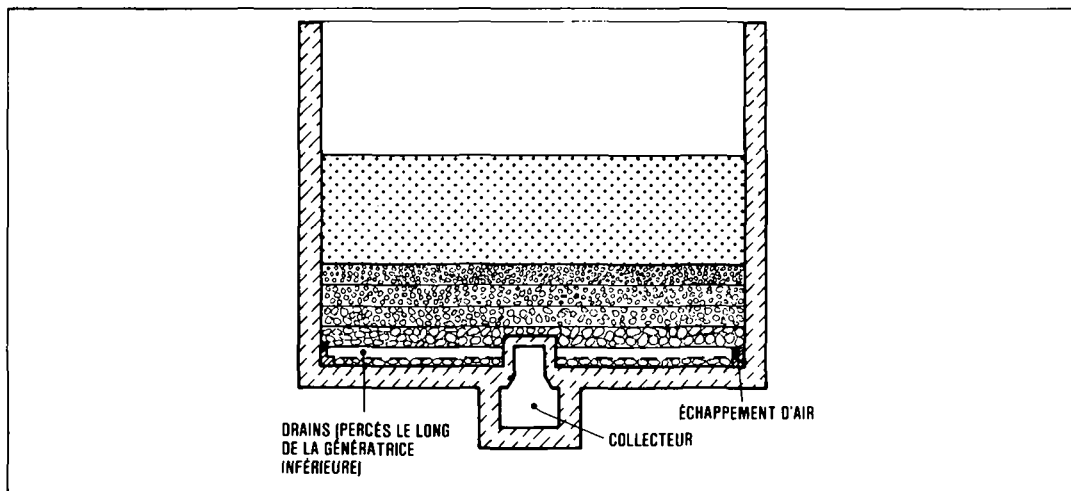


Figure 16.14.
Disposition des drains

Un système fréquemment utilisé comporte une série de drains placés à environ 0,2 m. les uns des autres et reliés à un collecteur (figure 16.14.). Les drains sont percés le long de la génératrice inférieure de trous d'environ 10 mm de diamètre. On utilise généralement des tuyaux en fibrociment ou en plastique rigide.

Pour éviter la pénétration des matériaux filtrants dans les drains par les trous, la couche inférieure du lit sera constituée d'un matériau grossier (par exemple du gravier) qui ne sera pas déplacé par les jets d'eau de lavage arrivant par les trous des drains. Par exemple, un sable filtrant de 0,7 à 1,0 mm de taille effective exigera 4 couches de graviers du sommet au fond :

0,15 m. de graviers 2-2,8 mm;

0,1 m de graviers 5,6-8 mm;

0,1 m. de graviers 16-23 mm;

et 0,2 m. de graviers 38-54 mm;

Après avoir traversé le lit filtrant, l'eau de lavage véhiculant les impuretés est récupérée et évacuée par les goulottes d'eau de lavage des filtres. La distance horizontale à parcourir par l'eau de lavage jusqu'à la goulotte ne doit pas être supérieure à environ 1,5 à 2,5 m. Les goulottes sont disposées de manière que leur crête soit à environ 0,5 à 0,6 m. au-dessus du lit de sable au repos. Leur section transversale sera établie en fonction de la considération suivante : en bout de goulotte, au point de décharge, la profondeur de l'eau correspondra à la hauteur de l'écoulement libre sur le seuil (figure 16.15.).

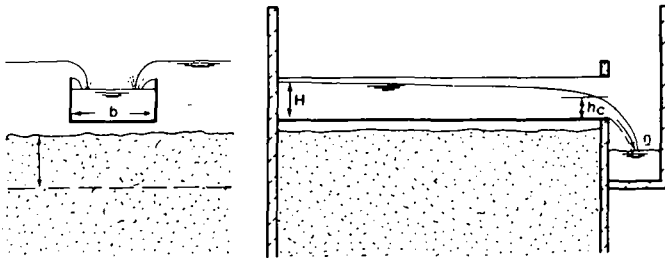


Figure 16.15.
Conditions d'écoulement pour les goulottes d'eau de lavage

Le tableau 16.2. donne les débits d'écoulement de l'eau de lavage (Q) pour les différentes valeurs combinées de la hauteur de l'écoulement de l'eau de lavage (H) et de la largeur de la goulotte d'évacuation.

Tableau 16.2.
Capacité d'évacuation des goulottes transportant l'eau de lavage (litres/seconde)

H Hauteur du flot d'eau de lavage dans la goutte	Largeur de la goutte		
	0,25 m.	0,35 m.	0,45 m.
0,25 m.	30	40	52
0,35 m.	53	75	96
0,45 m.	82	115	148

Les goulottes d'évacuation d'eau de lavage peuvent être placées de diverses manières. La figure 16.16. montre des aménagements types.

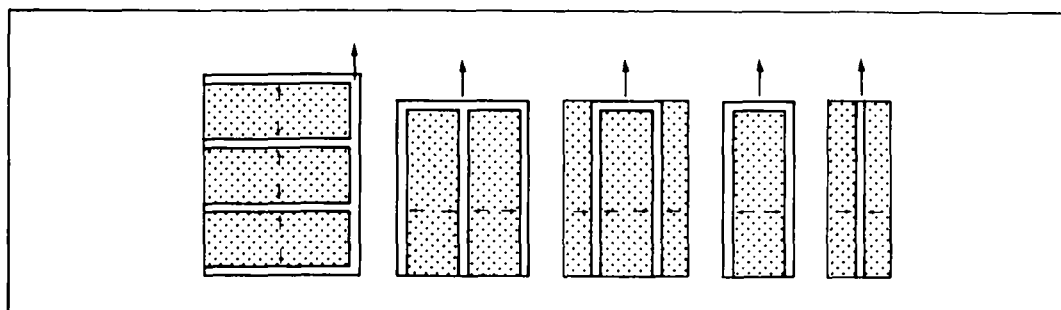


Figure 16.16.
Aménagements types des goulottes d'évacuation d'eau de lavage

Particulièrement lorsqu'on utilise du sable fin, avec un grain de taille inférieure à environ 0,8 mm, l'action développée par l'eau de lavage peut être insuffisante pour qu'à long terme les grains du filtre soient maintenus propres. Au bout de quelque temps, ils peuvent se couvrir d'une couche gluante de matière organique. Ceci peut provoquer des problèmes tels que des boules de boue et des craquelures du filtre (figure 16.17).

Cela peut être évité en faisant appel à de l'air pour un rinçage supplémentaire. Le nettoyage du filtre commence alors par un lavage à contre-courant avec addition d'air sous un débit de 30 à 50 m/heure, combiné en général avec un lavage à l'eau (débit de 10 à 15 m/heure). On doit ainsi arracher les enduits des grains du filtre; les matériaux détachés seront évacués par le lavage à l'eau qui suivra. Pour le lavage à contre-courant utilisant de l'air, un système séparé de conduites est nécessaire. On le voit sur la figure 16.18. On notera que le lavage à contre-courant air-et-eau est généralement trop complexe pour être utilisé dans de petites stations de traitement d'eau.

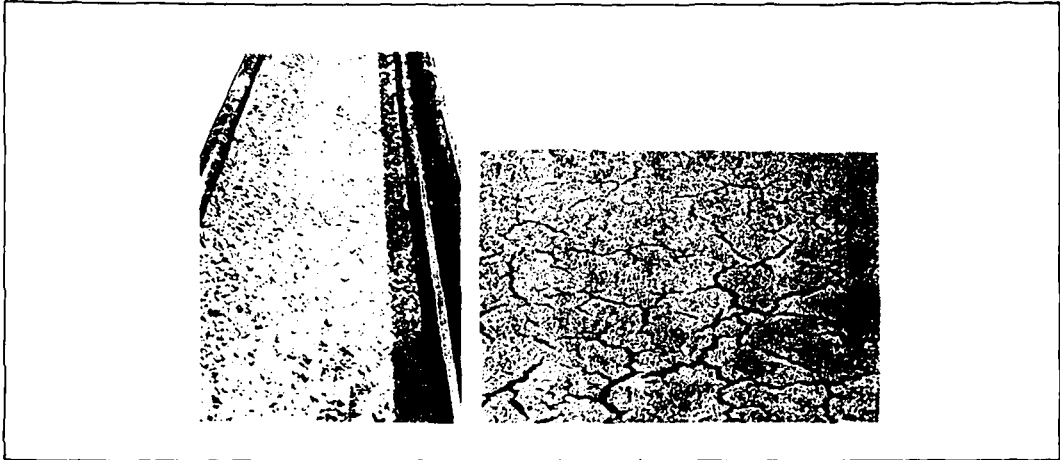


Figure 16.17.
Boules de boue et craquelures du filtre

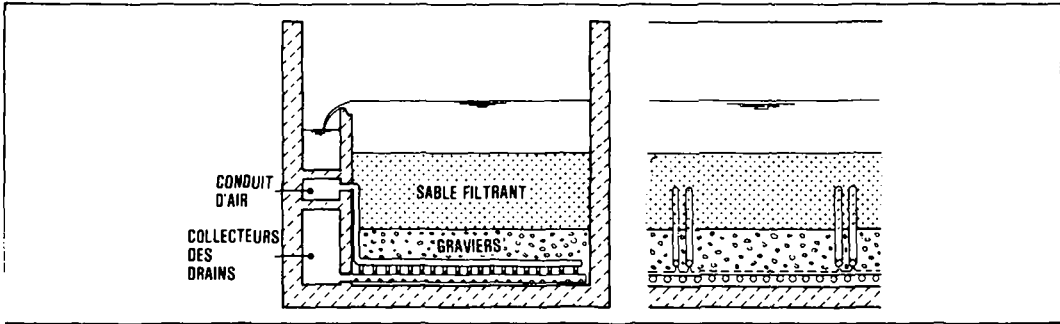


Figure 16.18.
Lavage à contre-courant air et eau

Un aménagement intéressant d'alimentation en air et en eau pour le lavage à contre-courant est présenté sur la figure 16.19. Le lavage à contre-courant commence par un transfert dans le réservoir 2 de l'eau contenue dans le réservoir 1. L'air du réservoir 2 est pressurisé et admis dans le filtre. L'eau introduite dans le réservoir 2 est alors utilisée pour laver le filtre à contre-courant.

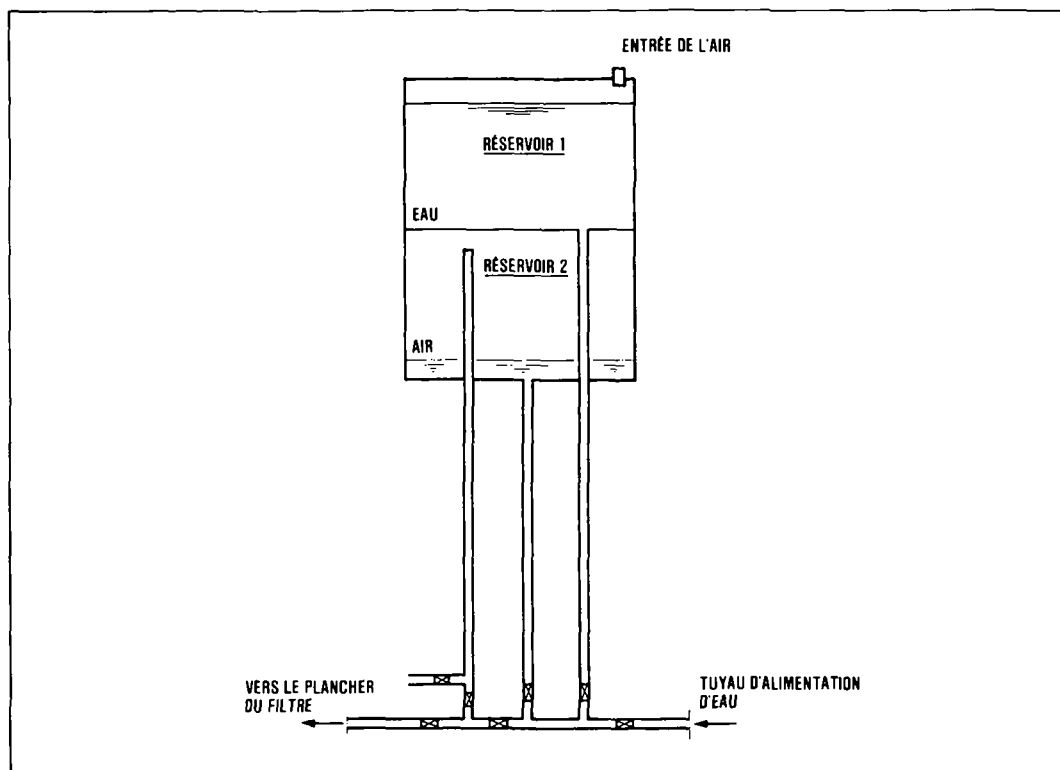


Figure 16.19.
Aménagement de lavage à contre-courant air et eau

Disposition d'une station de filtration rapide

Une station de filtration rapide comporte un certain nombre d'unités de filtration (minimum 2), chacune ayant une surface A . Lorsqu'un filtre est mis hors de service pour nettoyage, les unités restantes doivent être capables de fournir le débit Q d'eau filtrée demandé avec le débit de filtration choisie r . Ceci est exprimé par formule :

$$Q = (n-1) A.r$$

Pour les petites stations il existe un choix réduit pour la combinaison des valeurs n et r mais, pour les stations plus importantes, la combinaison n , r choisie doit tendre à minimiser le coût de la construction. A titre de première approximation, la surface d'un lit filtrant exprimée en m^2 peut être d'environ 3,5 fois le nombre d'unités de filtration n .

Pour réaliser une économie dans la construction et le fonctionnement, les unités de filtration doivent être établies de manière à former un ensemble compact avec les conduites d'entrée et de sortie et toute conduite éventuelle d'alimentation en produits chimiques,

toutes ces canalisations devant être aussi courtes que possible. La mise en place des divers éléments d'une station de filtration rapide est une question qui exige la plus grande attention de la part de l'ingénieur qui conçoit l'installation. Il convient de ménager la possibilité d'une extension future de la station. La figure 16.20 fournit un exemple. Les installations communes telles que des pompes d'eau de lavage, les réservoirs, les bacs de préparation des produits chimiques seront établis dans un bâtiment spécial dans lequel seront également prévus le bureau, le laboratoire, les locaux pour le stockage et la manipulation des produits chimiques et les installations sanitaires.

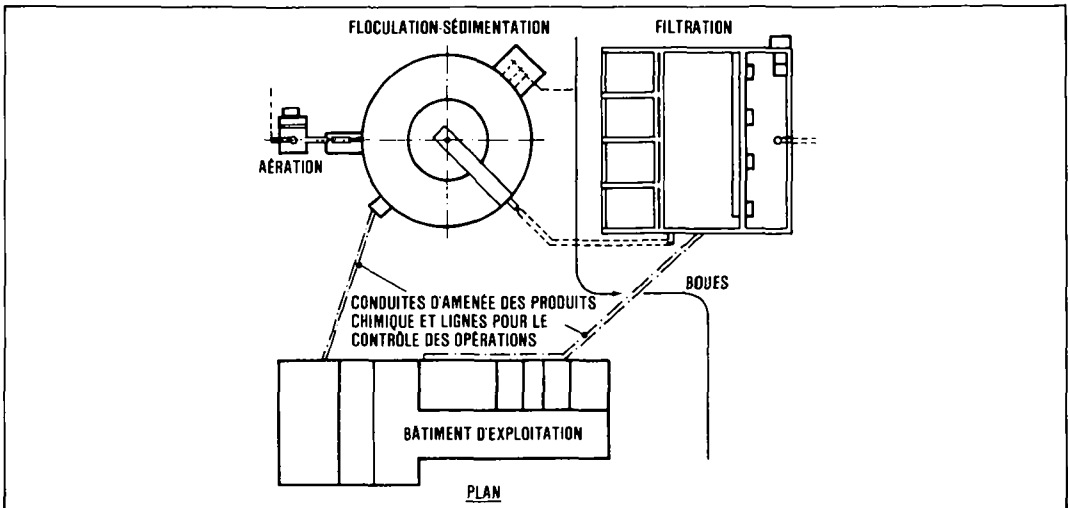


Figure 16.20
Disposition d'une station de filtration rapide

Le bâtiment d'exploitation est souvent placé au centre, les unités de filtration étant établies à droite et à gauche, d'un côté ou de part et d'autre d'un couloir à deux niveaux, le niveau supérieur étant l'étage d'exploitation et le niveau inférieur la galerie technique groupant l'ensemble des canalisations.

16.5 Construction

Comme nous l'avons expliqué précédemment, un filtre rapide est constitué d'une structure comportant le système de drainage, le lit filtrant et la couche d'eau brute. La structure est presque entièrement réalisée en béton armé, sur un plan rectangulaire avec des parois verticales. Cette structure de béton ne présente rien de particulier si ce n'est qu'elle doit être étanche à l'eau. Les fers doivent être largement noyés dans le béton pour éviter toute corrosion.

Les contraintes à l'intérieur du béton sont à réduire au minimum. Tous les efforts susceptibles de se développer dans le béton du fait du séchage, des retraites, des variations

de température et des tassements du terrain doivent être limités autant que faire se peut en subdivisant le bâtiment en un certain nombre de parties indépendantes, les liaisons comportant des joints étanches à l'eau. La composition du béton et sa mise en oeuvre devront assurer une complète étanchéité et des retraits lors du séchage aussi faibles que possible. On n'utilisera aucun enduit au plâtre. On obtiendra une bonne finition en utilisant un coffrage bien lisse, par exemple en bois raboté. Pour éviter les écoulements préférentiels le long des parois du filtre, le coffrage intérieur sera constitué de planches non rabotées placées horizontalement. Lorsque cela est possible, les filtres doivent être établis à un niveau supérieur en tout temps à celui de la nappe souterraine et, si nécessaire, sur un sol surélevé.

On a conçu dans le passé de nombreux types de planchers de filtres. Certains sont malheureusement trop coûteux ou ne peuvent assurer une égale répartition de l'eau de lavage sur tout le fond du lit filtrant. Le système simple décrit ci-dessus, utilisant des tubes distributeurs perforés peut, s'il est bien conçu, assurer une bonne distribution de l'eau de lavage. Il a, de plus, l'avantage de pouvoir être fabriqué avec des matériaux localement disponibles en utilisant la main d'oeuvre locale. Une autre bonne solution comporte un faux plancher avec un système de distribution par crépines. Des dalles carrées préfabriquées en béton de 0,60 x 0,60 m sont fixées sur de courtes colonnes de béton, comme le montre la figure 16.21. Les dalles sont percées de trous, environ 60 par mètre carré, dans lesquels les crépines prennent place (figure 16.22.). Les fentes pratiquées dans ces crépines sont étroites, environ 0,5 mm et procurent une résistance au passage de l'eau de lavage suffisante pour assurer une distribution homogène de l'eau. Ce plancher permet de placer le sable directement sur le fond du filtre avec les crépines sans qu'il soit besoin de couches supports de graviers.

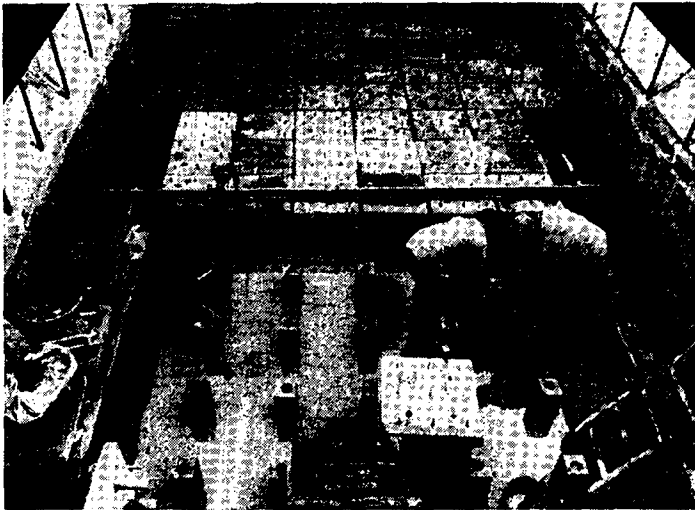


Figure 16.21.
Plancher de filtre avec faux plancher et crépines

Le travail d'un filtre rapide est effectué par le lit filtrant et on doit porter une grande attention à sa composition. Le sable a donné d'excellents résultats comme matériel filtrant; il est peu cher et généralement disponible; pour ces raisons il est très utilisé. Pour les lits filtrants mono-couche il n'y a pas de raison pour prévoir d'autres matériaux filtrants sauf dans des cas très spéciaux. Afin d'empêcher une classification hydraulique durant le lavage à contre-courant qui apporterait les grains fins au sommet et les grains grossiers au fond du lit filtrant, on doit utiliser un sable aussi uniforme que possible. Il doit avoir un coefficient d'uniformité inférieur à 1,7 et mieux 1,3. Les spécifications pour la granulométrie du sable filtrant sont à donner de préférence en pourcentages maximal et minimal des matériaux qui passent par divers tamis pourvus de mailles standard de tailles déterminées. Pour une spécification graphique, un diagramme peut être tracé comme le montre la figure 16.23.

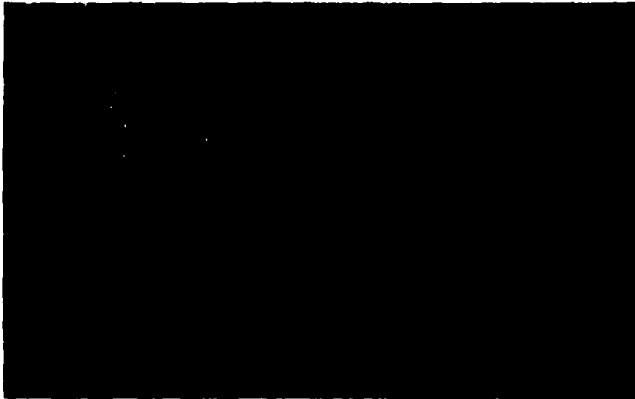


Figure 16.22.
Crépines en plastique

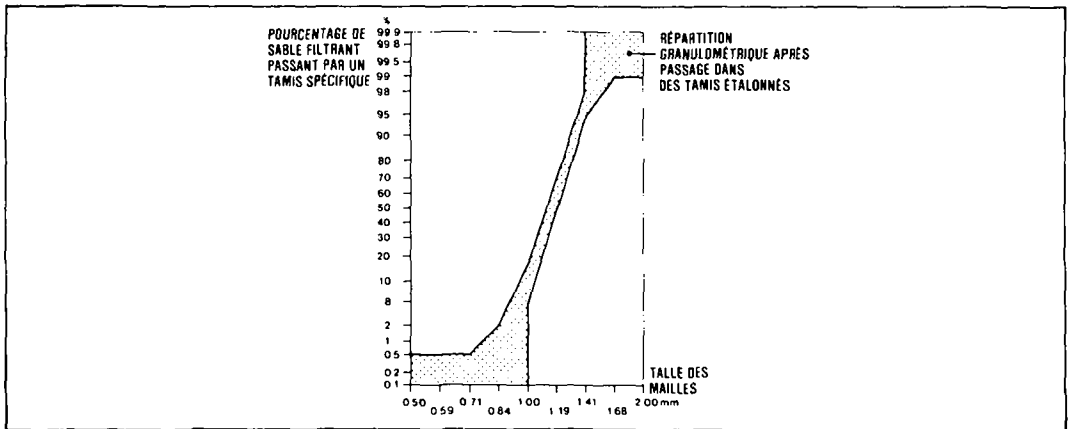


Figure 16.23.
Spécification d'un sable filtrant pour le pré-traitement d'une eau de rivière

16.6 Filtration rapide à l'échelle d'un village

En raison de la complexité de leur conception et de leur construction et de la nécessité d'avoir du personnel compétent pour leur exploitation, les filtres rapides ne sont pas très adaptés au traitement de l'eau à l'échelle d'un village. Cela tout particulièrement pour le dernier stade du traitement de l'eau provenant d'une rivière turbide. La sécurité de l'eau filtrée sur le plan bactériologique exigerait alors le recours à une post-chloration avec toutes ses difficultés. Il serait préférable d'utiliser des filtres lents sur sable qui donnent une eau bactériologiquement pure, mais ces filtres lents peuvent alors souffrir d'un colmatage rapide provoqué par la turbidité de l'eau brute.

Les matières en suspension peuvent être éliminées de l'eau brute par divers processus tels que : le stockage, la coagulation, la floculation et la sédimentation. Cependant, les filtres rapides sont seuls capables de produire en permanence une eau claire ayant une turbidité inférieure à 5 F.T.U. Il sera alors possible d'exploiter sans difficulté n'importe quel filtre lent situé à l'aval. Une telle application des filtres rapides ne devrait guère soulever d'objections de même que l'utilisation de la filtration rapide sur des eaux souterraines pour l'élimination du fer et de manganèse, car il n'y aurait alors que peu de risque de contamination bactérienne de l'eau.

Pour une consommation quotidienne d'eau de 40 litres par personne, la capacité de filtration pour 10.000 personnes serait de 400 m^3 par jour ou 40 m^3 par heure pour un fonctionnement journalier de 10 heures. Avec un débit de filtration de 5 m./heure, la superficie de lit filtrant sera de 8 m^2 ; on peut alors prévoir trois filtres circulaires de 2 m. de diamètre chacun (un filtre en réserve). Le mieux pour le plancher du filtre sera probablement un dispositif à tubes perforés (voir sous-chapitre 16.4.), surmonté de couches calibrées de graviers, de pierres cassées, de briques dures écaillées à la taille désirée. Lorsqu'on dispose de sable grossier, il peut être tamisé pour obtenir la granulométrie désirable, soit 0,8 mm à 1,2 mm pour les pré-filtres; 1,0 mm à 1,5 mm pour les filtres éliminant le fer et le manganèse. Pour les pré-filtres, l'épaisseur du lit de sable doit être de 1,0 m. et de 1,50 pour les filtres éliminant le fer et le manganèse. Dans le cas où on ne dispose pas de sable, des matériaux similaires peuvent être utilisés après broyage, tels que des pierres, des briques, du carbonate de calcium cristallisé, de la dolomite, etc... La granulométrie peut alors être jusqu'à 40 % supérieure à celle qui a été mentionnée ci-dessus. Dans certains cas, de la balle de riz brûlée, des coquilles concassées de noix de coco ont donné des résultats acceptables. Avant de mettre le filtre en service, il doit être lavé à contre-courant pendant environ une demi-heure pour nettoyer le matériau filtrant. La couche d'eau brute peut avoir 1,5 à 2 m. La structure du filtre aura alors une hauteur totale de 3,5 à 4 m.

La plus grande difficulté concernant la filtration rapide à l'échelle d'un village est le lavage à contre-courant. Il est coûteux d'utiliser une pompe pour l'eau de lavage. Dans

l'exemple présenté plus haut, une capacité de pompage de 100 à 200 m³/heure sera nécessaire, en double pour parer les défaillances mécaniques. Pour une production de 40 m³/heure d'eau filtrée, c'est une pompe énorme entraînant un investissement considérable et des coûts importants de fonctionnement. Avec un réservoir surélevé d'eau de lavage d'un volume de 20 m³, la capacité de la pompe peut être réduite à 10 m³/heure, mais il faut tenir compte du prix du réservoir. Pour les villages n'ayant que des maisons basses, la pression dans le système de distribution n'a généralement pas besoin de dépasser 6 m. Dans ce cas, une bonne solution sera d'utiliser le réservoir du réseau d'adduction d'eau pour le lavage à contre-courant des filtres. Aucune pompe spéciale ne sera nécessaire.

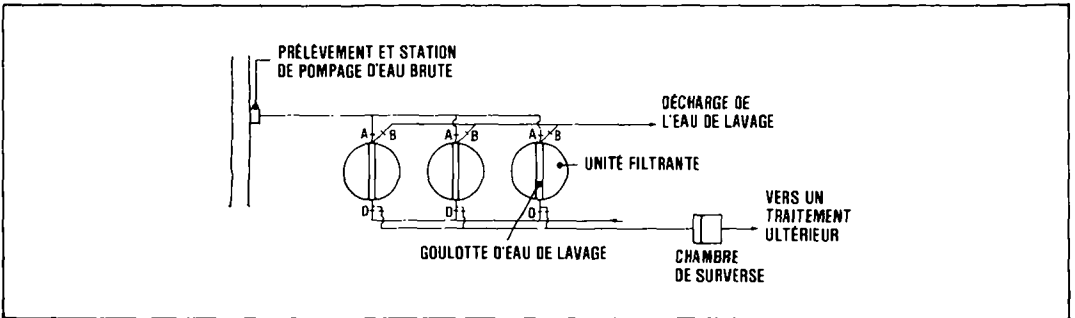


Figure 16.24.
Disposition générale d'une station de filtration rapide

La figure 16.24. donne le schéma d'une station de filtration. L'eau brute entre dans le filtre par la vanne A et se déverse dans la goulotte d'eau de lavage des filtres où elle disperse son énergie cinétique. Le réseau de distribution commandé par les vannes A étant composé de conduites de petit diamètre fournit une résistance suffisante à l'écoulement (exemple 0,5 m. de charge) pour assurer une distribution homogène de l'eau brute sur les unités individuelles de filtration. L'eau filtrée est évacuée à travers la vanne D et passe sur un seuil placé dans une chambre. La crête du seuil est établie à une cote permettant de maintenir le niveau de l'eau brute dans le bassin de filtration à au moins à 0,2 m. au-dessus du lit filtrant. Du fait du colmatage, le niveau de l'eau brute s'élèvera jusqu'à ce que la charge corresponde à la pression de l'eau dans la conduite d'alimentation; il n'entrera plus d'eau dans le filtre. Le filtre sera alors nettoyé en envoyant de l'eau de lavage par la vanne C et en l'évacuant par la vanne B. L'eau de lavage salie doit être clarifiée par sédimentation et peut alors être évacuée dans la rivière, à quelque distance en aval de la prise d'eau brute.

16.7 Filtration grossière

Parfois un traitement plus limité que la filtration rapide sur lit de sable suffira pour traiter l'eau brute. Il peut être obtenu en utilisant du gravier ou des fibres végétales

comme matériau filtrant. Dans le filtre ascendant de la figure 16.6. on utilisera trois couches avec, de bas en haut, des granulométries de 10 à 15 mm, 7 à 10 mm, et 4 à 7 mm, avec un plancher de filtre simple. Ce filtre grossier ("dégrossissage") aura de grands pores qui ne colmateront pas rapidement. Il peut admettre un important débit de filtration, supérieur à 20 m/h. La grandeur des pores permet aussi un nettoyage avec des débits à contre-courant relativement faibles, aucune expansion du lit filtrant n'étant nécessaire. Le lavage à contre-courant de ces pré-filtres est relativement long, environ 20 à 30 minutes.

On peut aussi utiliser des filtres horizontaux selon le schéma de la figure 16.25. Ils ont une profondeur de 1 à 2 m. et comportent trois zones, chacune ayant environ 5 m. de long et constituée de graviers de 20 à 30 mm, 15 à 20 mm et 10 à 15 mm de l'amont à l'aval. Le débit d'écoulement horizontal de l'eau observé sur la profondeur totale sera de 0,5 à 1,0 m/h.

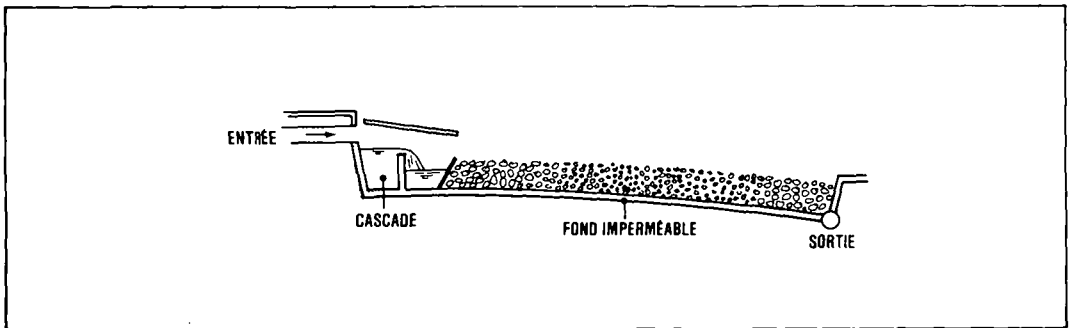


Figure 16.25.
Filtre horizontal à graviers

Ceci représente une charge très basse rapportée à la surface du filtre (seulement 0,03 à 0,10 m/heure). Une grande surface sera nécessaire, mais le colmatage du filtre est très lent et il fonctionnera plusieurs années sans nettoyage. Celui-ci sera réalisé par le déblaiement de l'ensemble et le lavage du matériau filtrant; le filtre sera alors remis en place.

On a utilisé des fibres de noix de coco comme matériau filtrant dans une unité expérimentale de filtration analogue à un lit de sable. Le lit filtrant n'a qu'une épaisseur de 0,3 à 0,5 m. avec une hauteur d'eau brute d'environ 1 m. Le filtre est fonctionnel avec des débits de 0,5 à 1 m/heure, permettant une période d'activité de plusieurs semaines. Pour nettoyer le filtre, il faut d'abord le vidanger, après quoi on retire et on évacue les fibres de noix de coco. Le filtre est refait avec de nouveaux matériaux qui ont été trempés dans l'eau pendant 24 heures pour supprimer autant de matière organique que possible. Les filtres en fibre de noix de coco sont capables de faire face à des fluctuations considérables de charge

en fournissant à leur sortie une eau de qualité presque constante. Les expériences ont montré un comportement remarquablement constant de ces filtres. La suppression globale de la turbidité varie entre 60 et 80 %.

Filtration rapide

Arboleda, J.
METODOS SIMPLIFICADOS DE TRATAMIENTO DE AGUA
Nuevos Metodos de Tratamiento de Agua
CEPIS, Lima, August 1972 (Manual No. 14)

Arboleda, J.
HYDRAULIC CONTROL SYSTEMS OF CONSTANT AND DECLINING
FLOW FILTRATION
In : Journal Am. Water Works Assoc. Vol. 66 (1974) No. 2, pp. 87-93

Baylis, J.R.
VARIABLE RATE FILTRATION
In : Pure Water, Vol. XI (1959) No. 5, pp. 86-114

Baylis, J.R.
EXPERIENCE WITH HIGH-RATE FILTRATION
In : Journal Am. Water Works Assoc. Vol. 42 (1950) No. 7, pp. 687-694

Camp, T.R.
WATER TREATMENT
Handbook of Applied Hydraulics (2nd Edition)
McGraw-Hill Book Co., New York, 1962

Cleasby, J.L.
FILTER RATE CONTROL WITHOUT RATE CONTROLLERS
In : Journal Am. Water Works Assoc. Vol. 61 (1969) No. 4, pp. 181-186

Cleasby, J.L.; Williamson, M.M.; Baumann, E.R.
EFFECT OF FILTRATION RATE CHANGES ON QUALITY
In : Journal Am. Water Works Assoc. Vol. 55 (1963) No. 7, pp. 869-875

Conley, W.K.
EXPERIENCE WITH ANTHRACITE - SAND FILTERS
In : Journal Am. Water Works Assoc. Vol. 53 (1961) No. 12, pp. 1473-1483

Fair, G.M.; Geyer, J.C.; Okun, D.A.
WATER AND WASTEWATER ENGINEERING
Vol. 2, Water Purification and Wastewater Treatment and Disposal
John Wiley & Sons, New York, 1968

Hudson, H.E.
DECLINING RATE FILTRATION
In : Journal Am. Water Works Assoc. Vol. 51 (1959) pp. 1455-1461

Robeck, G.G.
MODERN CONCEPTS IN WATER FILTRATION
PAHO Symposium on Modern Water Treatment Methods,
Asuncion (Paraguay), 14 August 1972
CEPIS, Lima, 1972 (Manual No. 14)

Shull, K.E.
EXPERIENCES WITH MULTIPLE-BED FILTERS
In : Journal Am. Water Works Assoc., March 1965, pp. 230-314

17. désinfection

17.1 Introduction

Avant tout l'eau doit être exempte de micro-organismes qui pourraient transmettre des maladies au consommateur. Les processus tels que le stockage, la sédimentation, la coagulation-floculation et la filtration rapide réduisent à des degrés divers la teneur de l'eau en micro-organismes. Cependant, ils ne permettent pas d'être assuré que l'eau produite est bactériologiquement pure. Une désinfection finale est fréquemment nécessaire. Dans les cas où on ne peut recourir à aucune autre méthode de traitement, on pourra mettre en place une désinfection qui, à elle seule, permet de combattre la contamination bactérienne de l'eau potable.

La désinfection permet la destruction ou du moins l'inactivation complète des micro-organismes pathogènes présents dans l'eau. Elle utilise des moyens physiques ou chimiques. Les facteurs suivants influencent la désinfection de l'eau :

- 1) Nature et nombre des organismes à détruire.
- 2) Type et concentration du désinfectant utilisé.
- 3) Température de l'eau à désinfecter; plus la température est élevée, plus la désinfection est rapide.
- 4) Le temps de contact; l'effet de la désinfection est d'autant plus complet que le désinfectant reste plus longtemps au contact de l'eau.
- 5) La nature de l'eau à désinfecter; la présence de particules, spécialement si elles sont de nature colloïdale ou organique, entrave le processus de désinfection.
- 6) Le pH (acidité/alcalinité) de l'eau.
- 7) Le mélange; un bon mélange assure une dispersion correcte du désinfectant dans l'eau et favorise la désinfection.

17.2 Désinfection physique

Les deux méthodes principales de désinfection physique sont l'ébullition de l'eau et l'irradiation par les rayons ultraviolets.

L'ébullition est un moyen simple et consacré par l'expérience qui détruit les micro-organismes pathogènes tels que virus, bactéries, cercaires, kystes et oeufs. Alors qu'elle peut être utilisée comme traitement domestique, elle n'est pas une méthode susceptible d'être appliquée dans les distributions d'alimentation en eau des collectivités. Cependant, dans des circonstances critiques, l'ébullition de l'eau peut être utilisée comme mesure temporaire.

Le rayonnement ultraviolet permet d'assurer efficacement la désinfection d'une eau limpide mais son action est très réduite lorsque l'eau est trouble ou contient certaines substances telles que des nitrates, des sulfates et des composés du fer. Cette méthode de désinfection n'engendre aucun élément qui puisse protéger l'eau contre une nouvelle contamination et permettre d'effectuer un contrôle ou de diriger l'opération. L'ultraviolet a été utilisé

pour la désinfection dans plusieurs pays développés mais a rarement été appliqué dans les pays en voie de développement.

17.3 Désinfectants chimiques

Un bon désinfectant chimique doit répondre aux critères essentiels ci-après :

- rapidité et efficacité dans la disparition des micro-organismes pathogènes présents dans l'eau,
- solubilité rapide dans l'eau aux concentrations nécessaires pour permettre la désinfection et l'obtention d'un résidu actif,
- ne conférer à l'eau ni goût, ni odeur, ni couleur,
- absence de toxicité pour l'homme et les animaux,
- facile à détecter et à mesurer dans l'eau,
- facile à manipuler, à transporter, à appliquer et à contrôler,
- disponible facilement à des coûts modérés.

Les produits chimiques qui ont été utilisés pour la désinfection sont : le chlore, les composants chlorés et l'iode, à des dosages convenables, l'ozone et les autres oxydants comme le permanganate de potassium et le peroxyde d'hydrogène. Chacun d'eux a ses avantages et ses limites.

Chlore et composants chlorés : Ils détruisent les pathogènes très rapidement et sont largement disponibles, ce qui les rend bien adaptés à la réalisation d'une désinfection. Leur coût est modéré et ils sont, pour cette raison, largement utilisés comme désinfectants à travers le monde.

L'iode : En dépit de ses propriétés intéressantes comme désinfectant, l'iode a des limites importantes. De fortes doses (10 à 15 mg/l) sont nécessaires pour parvenir à une désinfection satisfaisante. Elle n'est pas efficace lorsque l'eau à désinfecter est colorée ou trouble. L'iode en solution aqueuse est d'autre part très volatile. Tout cela ne milite pas pour son utilisation, sauf cas d'urgence.

Le permanganate de potassium : C'est un agent puissant d'oxygénation, efficace contre le vibrion cholérique mais pas contre les autres organismes pathogènes. Il laisse une coloration dans le réservoir; il ne constitue donc pas un désinfectant très satisfaisant pour l'alimentation en eau des collectivités.

L'ozone : L'ozone est utilisé de plus en plus pour la désinfection des installations d'alimentation en eau potable dans les pays industrialisés, et il est efficace dans l'élimination des composants donnant à l'eau un goût ou une couleur désagréable. Comme les rayons ultraviolets, l'ozone ne laisse normalement aucun résidu dosable qui pourrait servir à contrôler le processus. En l'absence de résidu, il n'y a pas de protection contre une nouvelle contamination de l'eau après sa désinfection. Les coûts élevés d'installation et de fonctionnement et la nécessité d'une alimentation continue en énergie ne conduisent pas à recommander la pratique

de l'ozonation dans les pays en voie de développement.

17.4 Chloration

La désinfection de l'eau par chloration, introduite dans les premières années du XXe siècle, constitue sans doute l'événement technologique le plus important dans l'histoire du traitement de l'eau. La chloration de l'eau dans les installations d'alimentation des pays en voie de développement est un élément extrêmement important. Le mauvais état sanitaire résultant de la pollution fécale des ressources en eau constitue fréquemment la plus grande menace pour la santé publique. Une chloration efficace de l'eau distribuée aboutit dans de nombreux cas à une réduction substantielle des maladies entériques directement liées à l'eau. Des études récentes, qui se poursuivent, ont pu faire penser que les composés organiques formés, lorsque du chlore est ajouté à l'eau, peuvent induire chez l'homme certaines formes de cancers. Etant donné la complexité des éléments en cause, on n'a sur ce point aucune preuve définitive. D'autre part, les propriétés désinfectantes du chlore sont bien établies et, à l'heure actuelle, cette considération doit peser davantage lorsqu'il s'agit de sauvegarder la santé que des suppositions sur des effets secondaires possibles.

Le chlore est un gaz toxique jaune verdâtre qui n'existe dans la nature qu'à l'état de combinaison, essentiellement avec le sodium (sel ordinaire). Il a une odeur caractéristique, pénétrante et irritante; il est plus lourd que l'air; comprimé il devient liquide, avec une couleur ambrée. Le chlore liquide est plus lourd que l'eau. Il se vaporise aux températures et pressions atmosphériques normales. Industriellement, le chlore est obtenu par l'électrolyse d'une saumure, opération qui produit de la soude caustique et de l'hydrogène. A l'état de gaz sec, le chlore n'est pas corrosif mais en présence d'humidité il devient très agressif pour tous les métaux sauf l'argent et le cuivre. Le chlore est légèrement soluble dans l'eau, approximativement 1 % en poids à 10°C.

Chlorure de chaux : Avant que l'on dispose de chlore liquide, la chloration était la plupart du temps effectuée en faisant appel au chlorure de chaux. C'est une combinaison de chaux éteinte et de chlore gazeux, répondant approximativement à la formule $\text{CaCl}_2, \text{Ca(OH)}_2, \text{H}_2\text{O} + \text{Ca (OCl)}_2, 2\text{Ca (OH)}_2$. Ajoutée à l'eau, elle se décompose pour donner l'acide hypochloreux HOCl . Lorsqu'il vient d'être produit, le chlorure de chaux a une teneur en chlore de 33 à 37 %. Le chlorure de chaux est instable; son exposition à l'air, à la lumière et à l'humidité fait tomber rapidement sa teneur en chlore. Le produit doit être stocké à l'abri de la lumière dans un local sec et frais, à l'intérieur de containers qui ne craignent pas la corrosion.

Hypochlorites (1) : Ils ne sont pas seulement deux fois plus puissants que le chlorure de chaux (60 à 70 %, en poids, de chlore disponible) mais ils conservent leurs propriétés

(1) Appellations commerciales "HTH", "Perchlorin", "Pittchlor"

initiales pendant plus d'un an dans des conditions normales de stockage. Ils sont disponibles par paquets de 2-3 kg, et par caisse jusqu'à 45 kg; on les trouve également en granulats ou en comprimés.

Hypochlorite de sodium : Sous forme de solution vendue dans le commerce, l'hypochlorite de sodium (NaOCl) contient normalement 12 à 15 % de chlore disponible. Les solutions d'hypochlorite de sodium à usage ménager (Eau de Javel) ne contiennent en général que 3 à 5 % de chlore disponible.

Ce sont les caractéristiques du chlore et de ses composés qui ont dicté les méthodes de leur manipulation et de leur application dans la pratique de la désinfection de l'eau.

Pratique de la chloration : Les méthodes de chloration peuvent être regroupées sous deux catégories qui dépendent de la teneur souhaitée en chlore résiduel et du point d'application.

Quand il faut obtenir du chlore résiduel et que le temps de contact est limité, il est de pratique courante de réaliser une chloration conduisant à avoir du chlore résiduel libre. Si on veut obtenir un résiduel de chlore à l'état combiné, le chlore est appliqué à l'eau, pour produire, avec de l'ammoniaque, naturel ou ajouté, un produit résiduel combiné (figure 17.1.).

La préchloration est l'application de chlore préalable à tout autre traitement. Fréquemment, elle vise à supprimer les algues, les goûts et les odeurs. La post-chloration consiste à appliquer le chlore après les autres processus de traitement, particulièrement après la filtration.

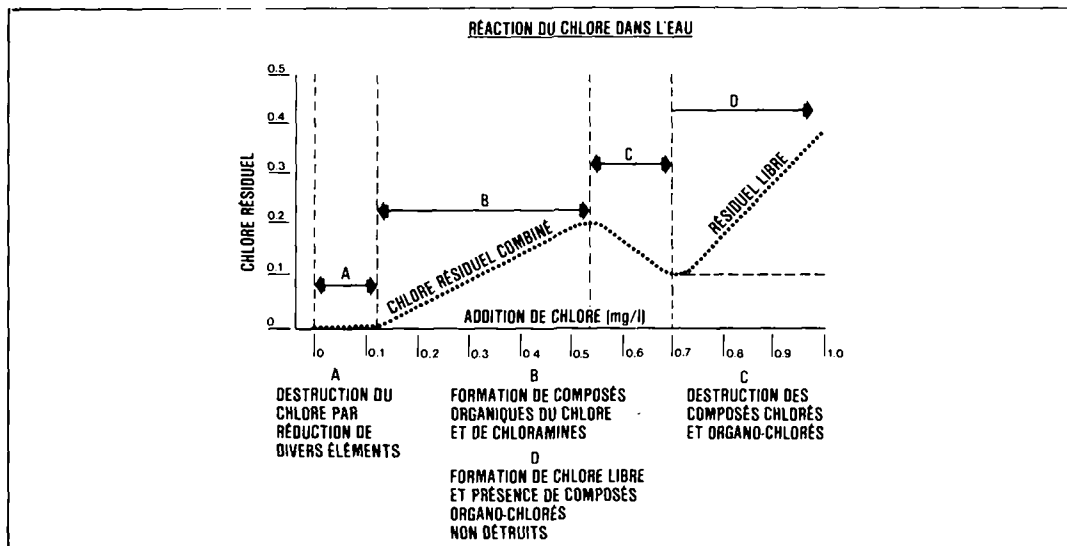


Figure 17.1.
Réactions du chlore dans l'eau

Demande de chlore : C'est la différence entre la quantité de chlore ajoutée à l'eau et la quantité de chlore disponible à l'état libre ou combiné restant à la fin d'un temps spécifique de contact.

Chlore résiduel : Plusieurs méthodes permettent de mesurer le chlore résiduel dans l'eau. On en citera deux parmi les plus simples.

a) Méthode du Diéthyl-para-Phénylènediamine (DPD) (1)

Le chlore disponible à l'état libre réagit instantanément avec N-diéthyl-para-phénylènediamine, produisant une coloration rouge, à condition qu'il n'y ait pas d'iode. On constitue des solutions de permanganate de potassium (DPD) additionnées de chlore à diverses concentrations pour établir une échelle de colorations. La couleur produite par l'addition de DPD à une eau déterminée est comparée avec cette échelle (méthode colorimétrique) pour déterminer la concentration de chlore résiduel. La couleur produite par cette méthode est plus stable que celle de la méthode de l'Orthotolidine.

b) Méthode de l'Orthotolidine

L'Orthotolidine, un composé aromatique, est oxydée en solution acide par le chlore, les chloramines et les autres oxydants et produit un complexe de couleur jaune dont l'intensité est directement proportionnelle à la quantité d'oxydants présents. La méthode est bonne pour les déterminations de routine des résiduels de chlore ne dépassant pas 10 mg/l. Une coloration naturelle de l'eau, de la turbidité ou des nitrates interfèrent dans le développement de la couleur. Il a été démontré que l'Orthotolidine est cancérigène; son utilisation a été interdite dans plusieurs pays.

17.5 Technologie de la chloration pour l'alimentation en eau rurale

L'eau souterraine obtenue à partir de puits à faible profondeur est toujours la source la plus importante d'alimentation pour des millions d'individus vivant dans de petites collectivités. De nombreuses constatations ont montré que de tels puits sont assez souvent contaminés. En général, les eaux de surface comme les mares villageoises, les courants divers et les rivières sont aussi pollués. Il n'est pas toujours possible, ni toujours nécessaire, d'effectuer un traitement complet de l'eau provenant de ces ressources, mais on doit au moins, pour protéger la santé publique, réaliser une désinfection convenable.

Techniquement, la chloration peut apporter une solution satisfaisante pour les petites collectivités rurales. Pour celles-ci, la désinfection par le chlore gazeux n'est

(1) Surveillance de la qualité de l'eau potable
OMS Séries Monographiques 63 (1976)

généralement pas envisageable, étant donné les problèmes que pose la mise en oeuvre de façon correcte et continue de petites quantités de chlore gazeux. Il convient sans doute de s'orienter vers les composés du chlore.

Chlorure de chaux : Le chlorure de chaux (voir annexe 4 pour les détails) est un composé du chlore qu'il est facile de se procurer à bon marché. Il est commode à transporter et n'est pas dangereux à manipuler s'il est fourni dans des récipients convenables. C'est une poudre blanche ou jaunâtre s'écoulant facilement et contenant environ 33 à 37 % de chlore disponible. Le chlore est instable et se dégage au cours du stockage. En présence d'humidité, le chlorure de chaux devient corrosif. Il est nécessaire d'utiliser des récipients résistants à la corrosion (bois, céramique ou plastique) qui seront stockés à l'abri de la lumière dans un local frais et sec. Pour minimiser la perte de chlore, il est recommandé de limiter à 5 % la concentration en chlore des solutions de chlorure de chaux.

Désinfection des puits ouverts : Ces ouvrages étant très fréquemment utilisés dans les pays en voie de développement, il est conseillé d'employer des méthodes simples pour la désinfection de l'eau qui en provient.

Pot de chloration : Un pot en terre d'une capacité de 7 à 10 litres percé au fond de trous de 6 à 8 mm de diamètre est à moitié rempli de cailloux et de graviers ronds de 20 à 40 mm. Un mélange d'une partie de chlorure de chaux pour 2 de sable est disposé au-dessus des graviers et le remplissage du pot jusqu'au goulot est terminé avec des graviers (figure 17.2.). Le pot, goulot ouvert, est descendu dans l'eau du puits.

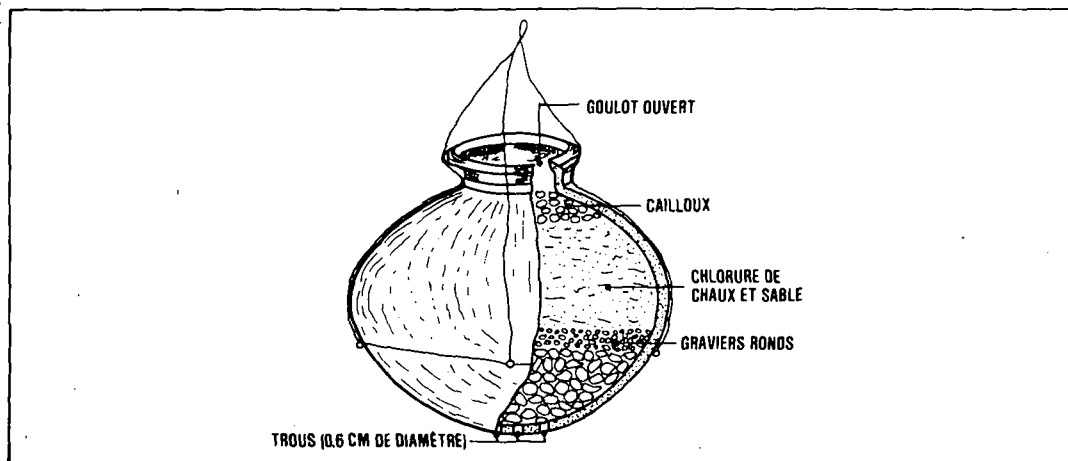


Figure 17.2.
Pot de chloration percé de trous au fond

Pour un puits d'où on tire de l'eau à raison de 1000 à 1200 l/jour, un pot contenant environ 1,5 kg de chlorure de chaux doit permettre une chloration convenable pendant environ une semaine.

Système à double pot : Lorsqu'on utilise un seul pot de chloration dans un petit puits individuel, il peut en résulter une sur-chloration. On conseille alors de recourir à deux pots cylindriques disposés l'un dans l'autre (figure 17.3.). Le pot intérieur est rempli jusqu'à un niveau un peu inférieur à celui du goulot d'un mélange humide de 1 kg de chlorure de chaux et de deux kilos de sable grossier et est placé à l'intérieur d'un second pot. Le col du pot extérieur est recouvert d'une feuille de polyéthylène et l'ensemble est plongé dans le puits au bout d'une corde. Ce dispositif peut fonctionner 2 à 3 semaines pour des puits individuels pouvant contenir 4500 litres d'eau avec une exhaure de 400 à 450 litres/jour.

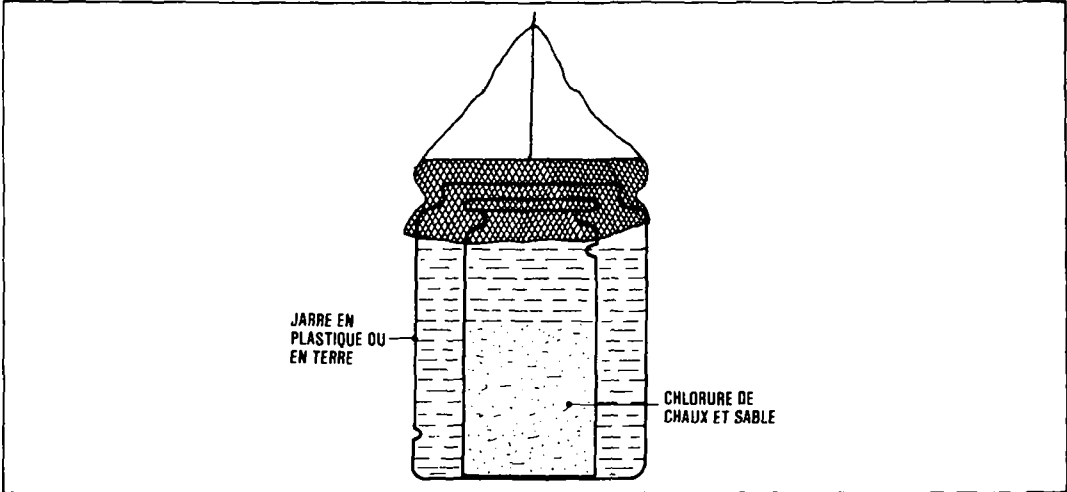


Figure 17.3.
Double pot de chloration

Chloromètre du type goutte à goutte : Les chloromètres du type goutte à goutte (figure 17.4.) permettent d'assurer la désinfection des puits. Des dépôts de carbonate de calcium formés lorsque la solution de chlorure de chaux entre en contact avec le dioxyde de carbone atmosphérique risquent d'obstruer la sortie du goutte à goutte. On peut établir, immédiatement avant le robinet d'arrêt, un goutte à goutte analogue à celui qui est utilisé dans les transfusions médicales. Le conduit de sortie plonge directement dans l'eau du puits. Le réservoir peut être placé sur la margelle.

Des dispositifs de distribution à charge constante ont été utilisés dans de nombreux cas avec succès. La figure 17.5. présente un "bol flottant".

Le tube de régulation et le tube d'écoulement doivent pouvoir coulisser dans le bol flottant par un dispositif étanche. Les tubes sont arasés à un niveau tel que la solution pénètre dans le bol et en sorte par le tube d'écoulement au débit désiré. Ce débit peut varier en

modifiant les niveaux des tubes de régulation et de distribution.

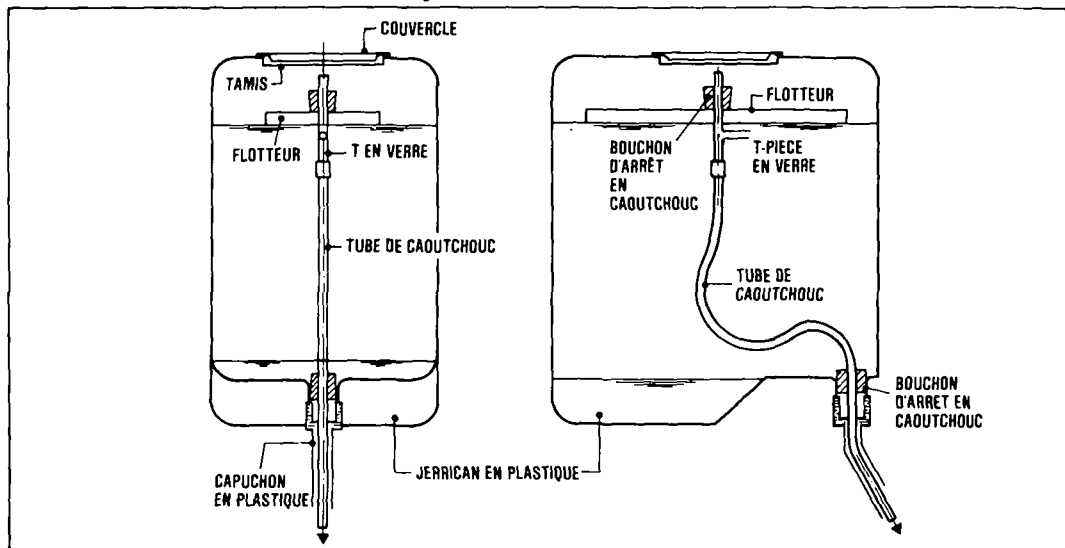


Figure 17.4.
Appareil de distribution d'une solution de chlore

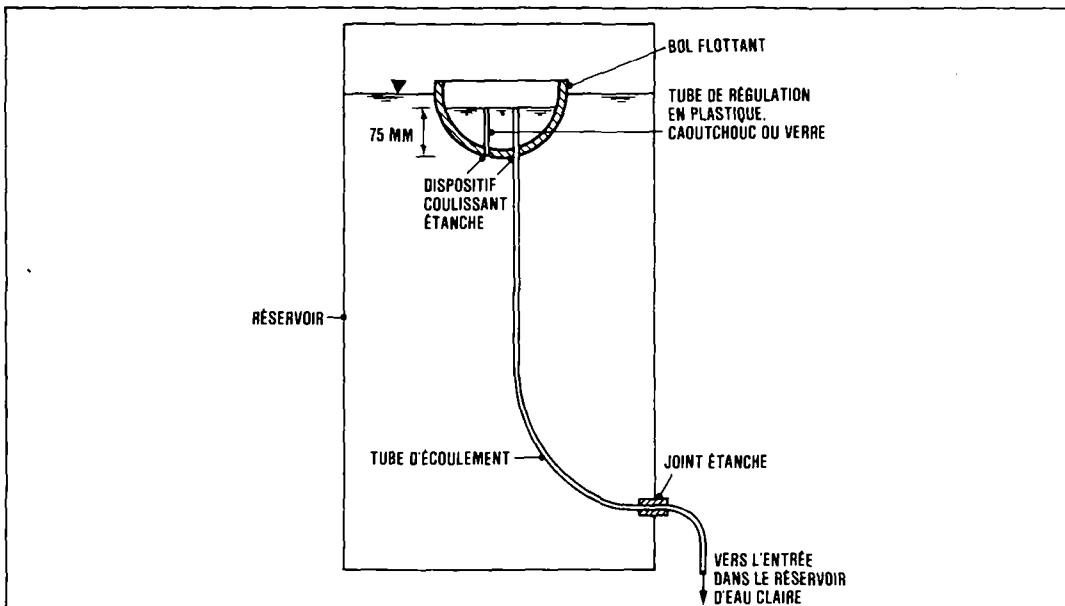


Figure 17.5.
Alimentation à charge constante pour des solutions chlorées

Moyens de dosage pour les alimentations par pompage : Lorsque l'eau est pompée depuis la ressource jusqu'à un réservoir de distribution surélevé et amenée par gravité jusqu'au réseau de distribution, une solution de chlorure de chaux peut être distribuée comme le montre la figure 17.6. Du réservoir contenant la solution de chlorure de chaux, celle-ci est amenée directement jusqu'au tuyau d'aspiration de la pompe. Une solution de chlorure de chaux à 1 %, préparée antérieurement et décantée pour éliminer les impuretés, est introduite dans le réservoir en quantité suffisante pour plus d'une journée. On doit empêcher toute entrée d'air dans la conduite d'aspiration de la pompe. On coupera l'envoi de la solution lorsque la pompe est à l'arrêt.

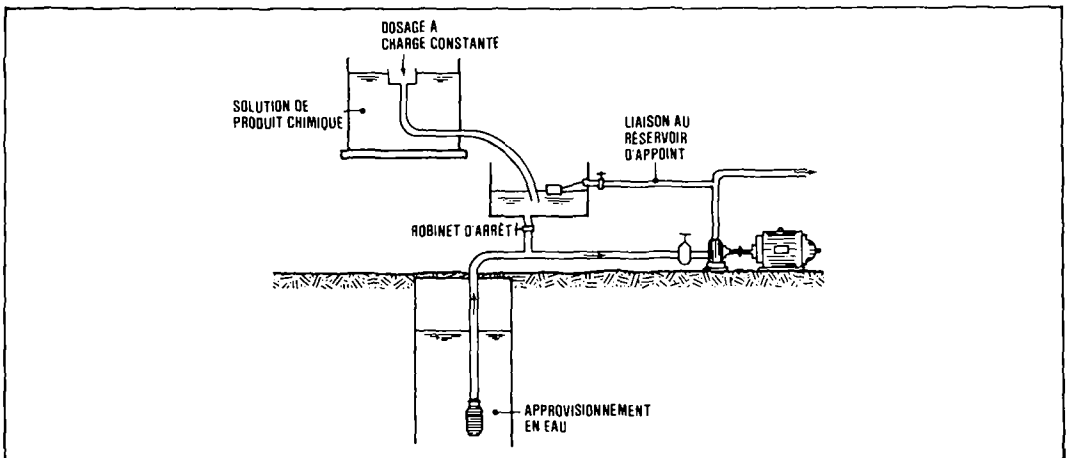


Figure 17.6.
Dispositif de chloration pour une alimentation par pompage

17.6 Désinfection au chlore gazeux

Les conditions d'utilisation du désinfectant dépendent de plusieurs facteurs, tels que le volume d'eau à traiter, le coût et la disponibilité des produits chimiques, l'installation nécessaire pour sa mise en oeuvre, et la main d'oeuvre indispensable à l'exploitation et à sa surveillance. Lorsque le débit d'eau à traiter est supérieur à 500 m³ par jour, le chlore gazeux est considéré comme le désinfectant le plus économique. Pour de petites alimentations, on dispose de bouteilles de chlore; il n'est alors pas possible de régler avec précision l'introduction de très petites quantités de gaz. Deux méthodes permettent de contrôler l'application du chlore gazeux.

1) Alimentation par solutions intermédiaires : Le gaz est d'abord dissous dans un petit volume d'eau et la solution de chlore en résultant est injectée dans le courant principal de l'eau à désinfecter. On peut ainsi assurer une dispersion rapide et complète au point d'application.

2) Alimentation directe : Dans ce cas, le gaz arrive directement au point d'application. Il faut disposer d'un type spécial de diffuseur ou d'un tube perforé en argent ou en plastique pour une diffusion correcte du gaz. Cette méthode n'est pas recommandée pour de petites alimentations rurales.

L'équipement utilisé pour le contrôle de l'introduction du chlore gazeux peut être du type en pression ou du type sous vide. Le type en pression comporte une filtration du gaz, un robinet d'arrêt, un réducteur de pression, et une valve de régulation ou un orifice muni d'un manomètre avec une étanchéité à garde d'eau. Etant donné les variations de pression dans la bouteille de chlore, on maintient une pression constante à travers l'ouverture grâce au réducteur de pression. La mesure de la chute de pression à travers l'orifice permet d'évaluer le débit du gaz. L'appareillage permettant la réalisation des solutions comprend des dispositifs assurant l'introduction d'un débit connu de chlore dans le petit courant d'eau qui transporte alors le chlore jusqu'au point d'application (figure 17.7.).

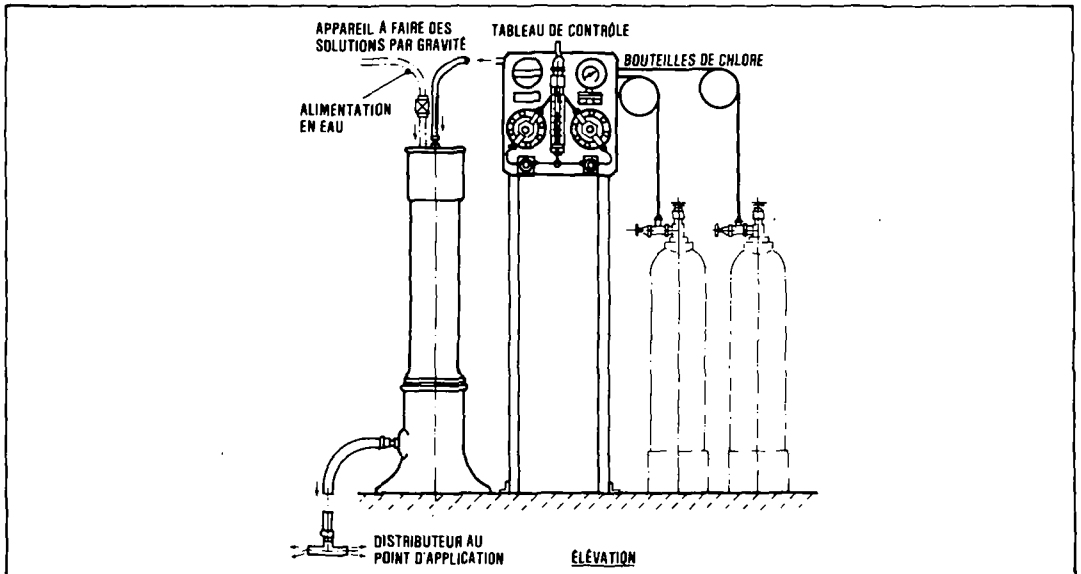


Figure 17.7.

Chloromètre à chlore gazeux permettant de réaliser des solutions par gravité

17.7 Désinfection des éléments nouvellement mis en place, réservoirs, tuyaux et joints

Nouveaux réservoirs : Tout nouveau bassin ou réservoir doit être désinfecté avant sa mise en service. De même, les bassins qui ont été mis hors service pour des réparations ou des nettoyages doivent être aussi désinfectés avant d'être réutilisés. Avant la désinfection, les parois et les fonds des réservoirs doivent être balayés et recurés pour éliminer tous les éléments polluants et les corps étrangers.

Une des méthodes utilisées pour la désinfection d'un nouveau réservoir est de le remplir jusqu'au niveau de surverse avec de l'eau claire à laquelle on ajoute du chlore jusqu'à une concentration de 50 mg/l. La solution de chlore est introduite dès le début du remplissage pour assurer un mélange et un contact aussi complets que possible avec toutes les surfaces à désinfecter. Lorsque le réservoir est plein, il est préférable d'attendre au moins 24 heures, mais en tous cas pas moins de 6 heures. L'eau est alors évacuée et le bassin rempli dans le cadre de son approvisionnement régulier.

Une seconde méthode, très satisfaisante et pratique dans les milieux ruraux, est l'application directe d'une solution concentrée (200 mg/l) aux surfaces intérieures du bassin. La surface doit rester en contact avec la solution concentrée au moins 30 minutes avant que le bassin ne soit rempli d'eau.

La troisième méthode, qui ne doit être utilisée que quand les autres ne peuvent l'être, n'expose pas la partie supérieure des parois à une solution concentrée de chlore. Une eau contenant 50 mg/l de chlore est introduite dans le bassin avec un volume calculé de manière telle que, lorsque le bassin sera ultérieurement complètement rempli, la concentration de chlore résultante soit d'environ 2 mg/l. L'eau à 50 mg/l est maintenue dans le réservoir pendant 24 heures avant qu'on le remplisse. Le réservoir peut alors être mis en service sans qu'il soit nécessaire d'évacuer l'eau utilisée pour la désinfection car celle-ci procurera un chlore résiduel final qui ne sera pas trop élevé.

Mise en place de nouvelles conduites : Les conduites principales et les tuyaux de distribution auront probablement été contaminés au cours de leur pose réalisée sans précautions. Ils doivent donc être désinfectés avant d'être mis en service. Les réseaux de distribution ont, d'autre part, besoin d'être désinfectés lorsqu'ils ont été contaminés du fait de ruptures intervenues dans les conduites ou par suite de crues.

Chaque conduite doit être nettoyée par brossage et rinçage pour éliminer les produits étrangers.

Immédiatement avant l'utilisation, le matériel nécessaire à l'exécution des joints doit être nettoyé et désinfecté par immersion dans une solution de chlore à 50 mg/l pendant au moins 30 minutes.

Un moyen pratique d'application de la solution de chlore pour la désinfection des réseaux ruraux d'alimentation en eau est de laver à grande eau chaque partie à désinfecter. La vanne amont est fermée, ce qui permet de mettre la section à sec. Puis la vanne de décharge est fermée et la section isolée du reste du système. La solution désinfectante est injectée par un entonnoir ou par un tuyau dans un appareil en place sur le réseau (bouche d'incendie par exemple) ou dans une ouverture spéciale pratiquée à la partie la plus haute de la conduite. C'est en général par une ventouse placée en ce point haut pour l'évacuation de l'air et que l'on démonte pour réaliser cette introduction.

La solution est ajoutée doucement jusqu'à ce que la section soit complètement remplie. On doit veiller à ce que l'air emprisonné dans la conduite puisse s'échapper. S'il n'existe pas de ventouse ou d'autre ouverture, il faut alors déconnecter une ou plusieurs canalisations pour permettre l'évacuation de l'air.

17.8 Désinfection d'un réseau d'alimentation en eau en cas d'urgence

Les mesures à long terme visant à l'alimentation des populations en eau saine, conjuguées avec l'hygiène personnelle et l'éducation sanitaire, contribueront grandement à la protection et à la promotion de la santé publique. Cependant, des catastrophes naturelles comme les cyclones, les tremblements de terre et les inondations entraînent parfois des arrêts complets des distributions d'eau.

Ces situations rendent nécessaire l'application de mesures d'urgence permettant de maintenir la fourniture d'eau potable. Il n'existe pas de mesure unique constituant une panacée pour toutes les situations, mais les mesures suivantes peuvent être prises pour assurer une fourniture d'eau potable en fonction des conditions locales et des ressources disponibles.

Lorsque le dispositif habituel d'alimentation en eau est atteint par une catastrophe, la priorité essentielle doit être donnée à la remise en marche du réseau. Une action simultanée visant à maîtriser la situation doit inclure une recherche de toutes les ressources en eau possibles à une distance raisonnable de la zone affectée. L'eau provenant des systèmes privés d'alimentation et d'autres sources pourra être transportée par camions-citernes jusqu'aux lieux de consommation.

Après des inondations, lorsque le réseau de distribution de l'alimentation en eau reste intact, la pression dans les conduites devra être accrue de façon à empêcher l'intrusion d'eau extérieure dans ces conduites. Comme mesure de complément, la chloration de l'eau dans les stations de traitement peut être temporairement augmentée. Une chloration à fort dosage ne peut être recommandée que dans les circonstances extrêmes ou en cas de nettoyage des conduites nouvellement mises en place.

Comprimés et solutions de produits chlorés : Les composés du chlore, sous forme de solution ou de comprimés, existent de façon courante dans de nombreux pays (1). Ils sont excellents pour la désinfection de petites quantités d'eau, mais ils sont chers. Après addition du produit, selon le dosage prescrit, l'eau est agitée puis maintenue au repos pendant 30 minutes avant consommation. Si l'eau est trouble, il peut être nécessaire d'augmenter le dosage.

(1) Appellations commerciales : "Halazone", "Chlor-dechlor", "Hydrochlorzone", "Hadex"

Désinfection

DESINFECTATION FOR SMALL COMMUNITY WATER SUPPLIES
National Environmental Health Engineering Research Institute
Nagpur (India)

Rajagopalan, S.; Shiffman, M.A.
GUIDE ON SIMPLE SANITARY MEASURES FOR THE CONTROL OF
ENTERIC DISEASES
World Health Organisation, Geneva, 1974

Rivas Mijares, G.
LA DISINFECCION DEL AGUA EN AREAS TROPICALES
Italgrafica, S.R.L., Caracas, 1970

SURVEILLANCE OF DRINKING WATER QUALITY
World Health Organisation, Geneva, 1976, 135 p.

18. transport de l'eau

18.1 Introduction

Le transport de l'eau constitue souvent l'un des éléments du dispositif d'alimentation en eau d'une petite collectivité; il n'y a sur ce point aucune différence avec de grandes installations de desserte. L'eau doit être transportée depuis la ressource disponible jusqu'à la station de traitement, s'il y en a une, et ensuite vers la zone de distribution. En fonction de la topographie et des conditions locales, l'eau doit être acheminée par des conduites à écoulement libre (figure 18.1.), des conduites sous pression (figure 18.2.) ou une combinaison des deux (figure 18.3.). Le transport de l'eau se fera soit par gravité soit par pompage.

Les conduites à écoulement libre doivent être disposées avec une pente uniforme afin de suivre étroitement la ligne piézométrique (1). Les canalisations sous pression peuvent être disposées avec des pentes et des contre-pentes, si nécessaire, à condition de demeurer suffisamment en dessous de la ligne piézométrique.

Dans le cadre des réseaux d'alimentation en eau, les canalisations constituent le moyen de transport le plus fréquemment utilisé, mais on a aussi recours à des canaux, aqueducs ou galeries. Que l'on utilise un écoulement libre ou un écoulement sous pression, le transport de l'eau constitue généralement un investissement considérable. On doit alors, dans chaque cas particulier, examiner attentivement toutes les options possibles, sur les plans technique et financier pour pouvoir choisir la meilleure solution.

18.2 Types de conduits d'eau

Canaux : Les canaux ont généralement une section trapézoïdale mais une section rectangulaire est plus économique lorsque le canal est creusé dans du rocher compact. Les conditions d'écoulement sont plus ou moins uniformes lorsqu'un canal conserve même section, même pente et même revêtement intérieur sur toute sa longueur.

Les canaux ouverts ne sont pas très utilisés dans les réseaux d'alimentation en eau potable en raison des dangers de contamination de l'eau. Les canaux ouverts ne conviennent jamais au transport de l'eau traitée mais ils peuvent être utilisés pour le transport de l'eau brute.

Aqueducs et galeries : Aqueducs et galeries doivent être conçus pour pouvoir évacuer le débit d'eau prévu aux 3/4 seulement de leur possibilité totale d'écoulement. Les galeries à écoulement libre ont en général une section en fer à cheval. Ces galeries sont construites

(1) La pente de la ligne piézométrique est "le gradient hydraulique". Pour les canaux ouverts, c'est la pente de la surface de l'eau. Pour les conduites fermées sous pression (par exemple des canalisations), la ligne piézométrique a une pente qui dépend de la perte de charge par unité de longueur de tuyau.

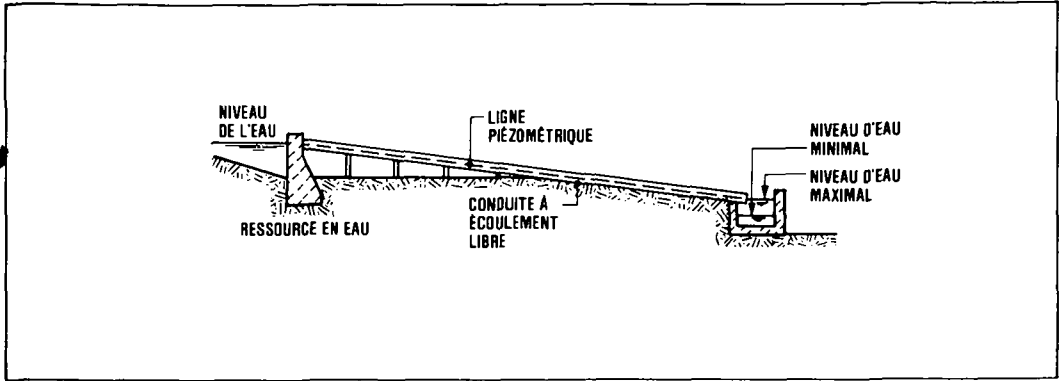


Figure 18.1.
Conduite à écoulement libre

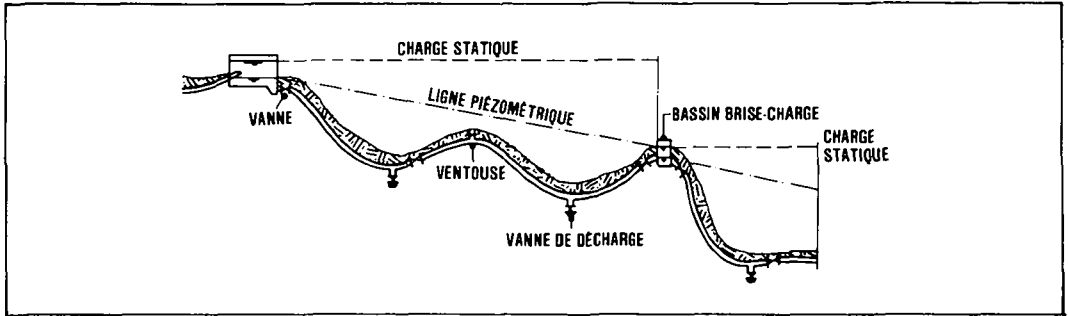


Figure 18.2.
Canalisation sous pression

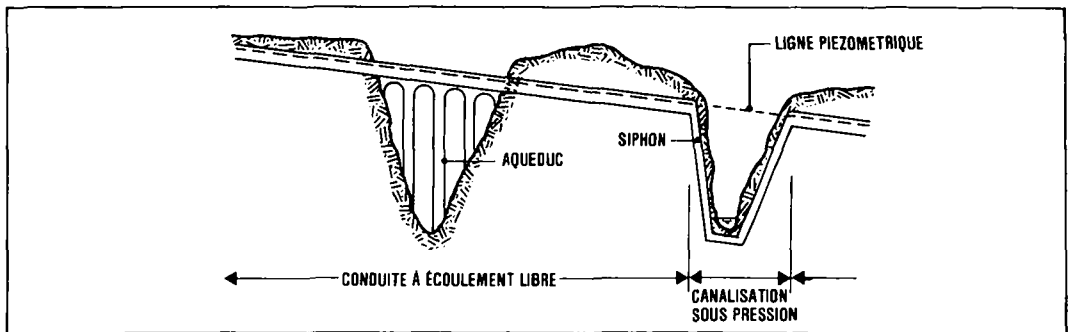


Figure 18.3.
Combinaison d'une conduite à écoulement libre et d'une canalisation sous pression

pour réduire la longueur totale du transport et éviter le recours à des aqueducs et à des canalisations traversant des terrains accidentés. Pour réduire les pertes de charge et les infiltrations, les galeries sont en général revêtues. Cependant, lorsqu'elles sont construites dans une roche solide, aucun revêtement n'est nécessaire.

La vitesse d'écoulement dans les aqueducs et les galeries varie entre 0,3 et 0,9 m/sec pour des ouvrages non revêtus et peut être supérieure à 2 m/sec pour des ouvrages revêtus.

Conduites à écoulement libre : Dans les conduites à écoulement libre, on peut utiliser des matériaux simples puisqu'il n'y a pas de mise en pression. Des tuyaux en terre vitrifiée, des conduites en fibrociment ou en béton peuvent convenir. Ces conduites doivent suivre étroitement la ligne piézométrique.

Canalisations sous pression : Le tracé des canalisations sous pression dépend évidemment beaucoup moins de la topographie des zones traversées, que celui des canaux, des aqueducs et des conduites à écoulement libre. Une conduite sous pression peut être tracée selon la pente ou à contre pente et il existe beaucoup de liberté dans le choix de son parcours. On préférera souvent l'établir le long des routes ou des voies publiques pour faciliter sa surveillance (détection des fuites, des vannes défectueuses, de tout dommage subi par l'installation) et permettre un accès rapide pour l'entretien et les réparations.



iRC Photo

Figure 18.4.
Canalisation sous pression en construction (Kenya)

18.3 Considérations concernant la conception

Débit à prévoir

La demande d'eau dans une zone de distribution fluctuera considérablement au cours d'une journée. Habituellement un réservoir est prévu pour accumuler l'eau et faire face à la fluctuation de la demande. Le réservoir est alimenté par la conduite principale de transport et situé à un emplacement permettant d'approvisionner le réseau de distribution (figure 18.5.). La conduite principale de transport est normalement conçue pour satisfaire avec un débit constant la demande maximale journalière d'eau. Toutes les variations horaires dans la demande d'eau au cours de la journée de consommation maximale sont alors absorbées par le réservoir de distribution.

Le temps journalier de fonctionnement de la conduite principale de transport est un autre facteur important. Pour une alimentation en eau par groupe moto pompe (moteur électrique ou diesel), la durée journalière de pompage est souvent limitée à 16 heures ou moins. Le débit d'écoulement pour la conduite principale de transport doit alors être ajusté en conséquence.

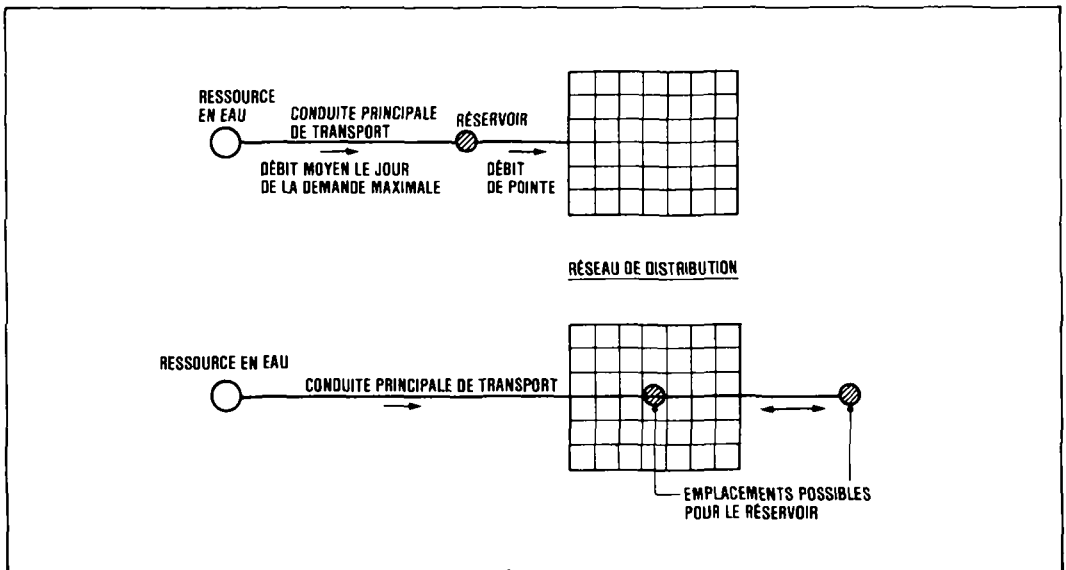


Figure 18.5.
Alimentation principale et réservoir de distribution (schéma)

Pression

Ce point ne concerne évidemment que les canalisations sous pression. Celles-ci suivent en général la topographie du terrain de manière très étroite. La ligne piézométrique

indique la pression de l'eau dans la canalisation dans les conditions d'exploitation. Elle doit s'établir au-dessus de la canalisation, sur toute sa longueur et pour tous les débits d'écoulement; en fait, la pression de l'eau dans la canalisation ne doit jamais être inférieure à quatre mètres (figure 18.6.).

La conduite doit pouvoir résister à la plus forte pression susceptible de survenir dans la canalisation. La pression maximale ne survient fréquemment pas dans les conditions normales d'exploitation; c'est généralement la pression statique lorsque la canalisation est fermée. Pour limiter la pression maximale dans une canalisation et, ainsi, le coût du réseau, celui-ci peut être scindé en sections séparées par des bassins brise-charge. Le rôle d'un tel bassin est de limiter la pression statique en établissant une surface libre d'eau à certains emplacements situés le long de la canalisation. L'écoulement provenant de la partie supérieure peut être limité si cela est nécessaire.

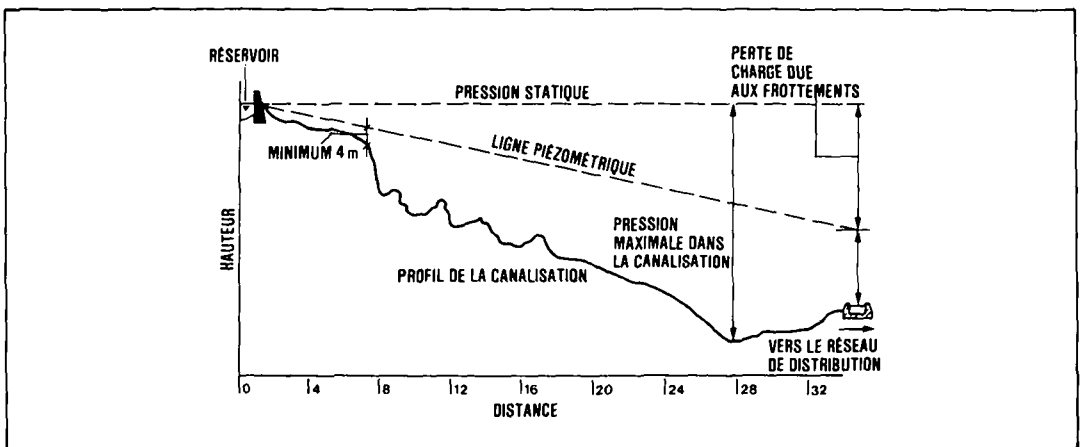


Figure 18.6.
Détermination de la pression dans la canalisation

Des pressions critiques peuvent aussi se développer à la suite de variations subites de pression ou de coups de bélier dans la canalisation. Ceux-ci résultent de la fermeture brutale ou trop rapide de vannes, ou de démarrages ou d'arrêts brusques de la pompe. Les variations brutales de pression créent des sur ou des sous-charges qui peuvent endommager la canalisation.

18.4 Conception sur le plan de l'hydraulique

Pour un débit d'écoulement donné (Q), et une vitesse d'écoulement (v), la section de la conduite d'alimentation peut être calculée à partir des formules suivantes :

Conduites ouvertes

La formule de Manning (ou de Strickler) est largement utilisée dans les projets d'hydraulique pour des conduites ouvertes à écoulement libre :

$$v = k \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2}$$

v = vitesse moyenne d'écoulement dans la conduite (m/sec)

k = coefficient de rugosité des parois et du fond de la conduite (mm)

R = rayon hydraulique (m)

I = gradient hydraulique (m/m)

Pour des projets, le tableau 18.1. donne des valeurs indicatives du coefficient de rugosité pour des types variés de revêtements dans des canaux propres et rectilignes (1).

Tableau 18.1.

Valeurs indicatives du coefficient de rugosité pour divers types de revêtement

Type de revêtement	Coefficient de rugosité (k)
Planches rabotées, joints bien arasés	80
Bois de sciage de construction, joints inégaux	70
Béton, lissé à la truelle	80
Maçonnerie	
. Ciment soigné	70
. Maçonnerie bonne finition	65
. Maçonnerie grossière	60
Excavation	
. Terre	45
. Gravier	40
. Roche lisse	30
. Roche rugueuse	25

Canalisations

La formule la meilleure pour le calcul de la perte de charge pour un écoulement dans une canalisation est celle de Colebrook-White ("Universelle") :

$$H = \frac{8 \lambda}{\pi^2 g} \cdot \frac{Q^2}{D^5} \cdot L = j \cdot L$$

Dans laquelle :

H = perte de charge (m)

L = Longueur de la canalisation (m)

λ = Coefficient de frottement

(1) En pratique, un canal n'a pas, pour k, une valeur unique. Fréquemment k varie avec les différentes parties du canal, avec, souvent aussi, des variations saisonnières.

D = diamètre intérieur de la conduite (m)

Q = débit de l'écoulement (m^3/s)

g = Accélération de la pesanteur (approximativement $9,8 m/sec^2$)

i = gradient hydraulique (m/m ou m/km)

Le coefficient de frottement λ est fonction de la rugosité de la paroi de la conduite (k), la viscosité cinématique de l'eau (ν), la vitesse d'écoulement (v) et du diamètre intérieur de la conduite (D). La formule de Colebrook-White est trop compliquée pour les calculs numériques. Des tableaux et des abaques ont été établis pour différentes valeurs de rugosité des parois de la conduite.

Le tableau 18.2. en est un exemple. Il fournit la perte de charge pour de l'eau s'écoulant dans des conduites à parois lisses (rugosité $k = 0,1 mm$). La figure 18.7. est un exemple d'abaque donnant la perte de charge pour des conduites ayant une rugosité $k = 0,2 mm$.

Tableau 18.2.
Perte de charge en m/km

température 20°C

Pour des conduites lisses (rugosité de la paroi $k = 0,1 mm$)

Q en l/s	D en mm										
	15	20	25	30	50	70	100	120	150	200	
0,1	44,1	10,5	3,51	1,45							
0,15	94,1	22,0	7,28	2,97							
0,2	162	37,6	12,3	4,99							
0,3		80,5	26,0	10,5	0,85						
0,5		214	68,1	27,0	2,13						
0,7			129	51,0	3,94	0,76					
1,0				101	7,60	1,44					
1,5					16,2	3,02					
2					28,0	5,15	0,88				
3					60,9	11,0	1,86	0,76			
5					164	29,1	4,81	1,94	0,65		
7						55,7	9,09	3,64	1,20		
10						111	17,9	7,13	2,33	0,56	
15							39,2	15,5	5,01	1,19	
20							68,6	26,9	8,66	2,04	
30							152	59,3	18,9	4,39	
50								161	51,0	11,7	
70									98,7	22,5	
100										199	45,1

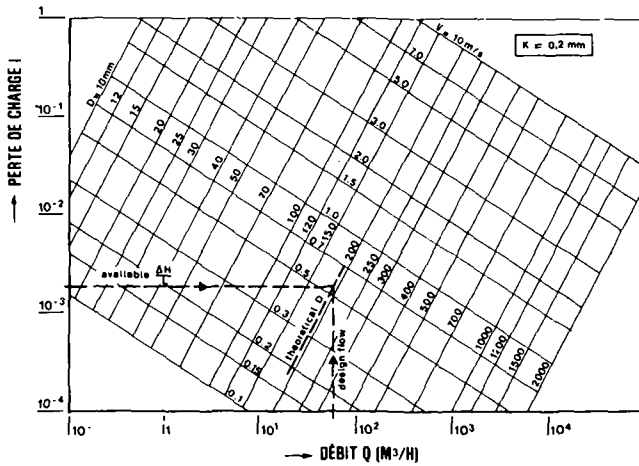


Figure 18.7.
Abaque pour la détermination des pertes de charge

Exemple 1 :

Quelle est la perte de charge dans une canalisation de 1200 m. de longueur avec un diamètre de 50 mm pour un débit de $3 \text{ m}^3/\text{h}$?

Un débit de $3 \text{ m}^3/\text{h}$ est égal à $0,83 \text{ l/sec}$. En se référant au tableau :

Avec : $Q = 0,7 \text{ l/sec}$, $i = 3,94 \text{ m/km}$

$$I = \left(\frac{0,83}{0,7} \right)^2 \times (3,94) = 5,54 \text{ m/km}$$

Avec : $Q = 1,0 \text{ l/sec}$, $i = 7,60$

$$I = \left(\frac{0,83}{1,0} \right)^2 \times (7,60) = 5,24 \text{ m/km}$$

La moyenne est $(5,54 + 5,24) : 2 = 5,4 \text{ m/km}$. Ainsi pour une longueur de 1,2 km, la perte de charge sera : $(1,2) (5,4) = 6,5 \text{ m}$ de charge d'eau.

Exemple 2 :

Quel sera le débit dans une canalisation 50 mm de diamètre qui transporte l'eau provenant d'un petit barrage jusqu'à un bassin situé à 600 m. La différence des cotes entre les deux points est 5,40 m.

Le gradient hydraulique est alors de $5,40 : 0,6 = 9 \text{ m/km}$. Se référant au tableau, le gradient hydraulique pour un débit d'un litre/sec est de $7,60 \text{ m/km}$. Ainsi le débit effectif sera :

$$Q = 1,0 \frac{9}{7,6} = 1,1 \text{ litre/seconde, ou approximativement } 4 \text{ m}^3/\text{heure.}$$

Exemple 3 :

Quel sera le débit dans l'exemple 2 lorsqu'on choisit une canalisation de 55 mm de diamètre ?

$$Q = (1,1) \left(\frac{55}{50} \right)^{2.5} = 1,4 \text{ litres/sec.}$$

Les valeurs, à titre indicatif, de la rugosité de la paroi de la conduite (k) sont données ci-dessous :

<u>Nature de la conduite</u>	<u>Coefficient de rugosité (1)</u>
Fibrociment (F.C.)	k = 0,1 mm
Chlorure de polyvinyle (P.V.C.)	k = 0,1 mm
Polyéthylène (P.E.)	k = 0,05 mm
Fonte ductile (F.D.) (non revêtue)	k = 0,25 mm
Fonte ductile (F.D.) (revêtue de ciment)	k = 0,125 mm
Acier (revêtu)	k = 0,125 mm
Métal galvanisé (M.G.)	k = 0,15 mm



Figure 18.8
Traversée d'une rivière par une canalisation d'adduction

18.5 Transport de l'eau par pompage

Pour le transport de l'eau par pompage, la perte de charge correspondant au débit fixé peut être calculée pour les divers diamètres en utilisant des tableaux et des abaques analogues

(1) Après plusieurs années de service, en tenant compte des joints et de quelques imperfections dans la pose.

à ceux qui ont été présentés dans le sous-chapitre 18.4. La charge de pompage est la charge totale, c'est-à-dire la charge statique plus la perte de charge due aux frottements pour le débit d'écoulement recherché. La pompe que l'on doit choisir doit être capable de fonctionner sous cette charge.

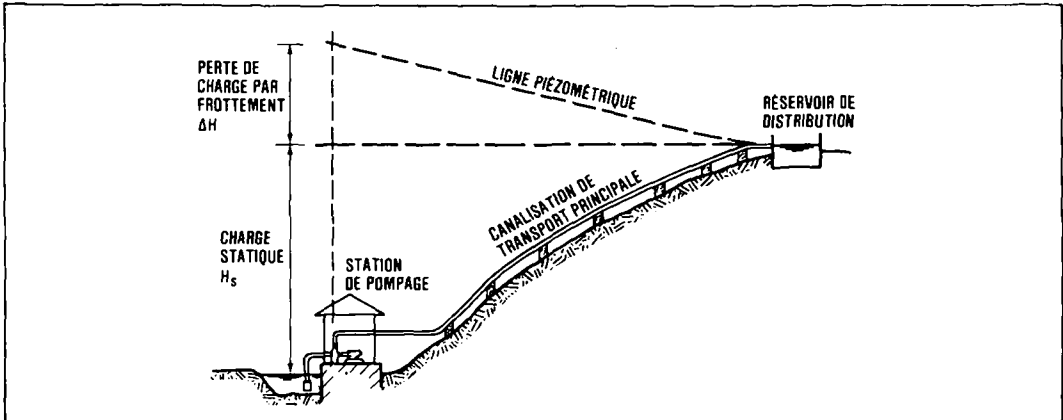


Figure 18.9.
Alimentation par pompage

Ces calculs peuvent être faits pour plusieurs diamètres de canalisation. Chaque combinaison de la charge de pompage et du diamètre permet de fournir le débit demandé pour une distance donnée, et de l'élever jusqu'au réservoir. Cependant, le coût minimum sera obtenu pour un certain diamètre de canalisation en tenant compte des coûts initiaux (investissement) et des coûts d'énergie pour le pompage. Le coût total capitalisé obtenu permet de choisir la conduite dont le diamètre est le plus économique.

Pour cette analyse, les coûts calculés pour les différentes tailles de conduite sont figurés sur le graphique de la figure 18.10.

Le diamètre le plus économique de la conduite sera plutôt élevé :

- quand les coûts de l'énergie seront élevés,
- les coûts par mètre linéaire des canalisations seront faibles,
- les taux d'intérêt seront bas.

En première approximation, le diamètre le plus économique peut être calculé pour une vitesse d'écoulement de 0,75 m/sec.

Choix des pompes

Divers types de pompes ont été mentionnés au chapitre 10 : pompes centrifuges à flux axial, débit transversal, pompes à piston à mouvement rectiligne et alternatif. Le choix

d'une pompe dépendra en général de ce qu'on attend d'elle en matière de charge de pompage et de débit.

Les pompes rotatives ont un axe horizontal ou un axe vertical. Le choix sur ce point dépend généralement des dispositions prises pour la commande du dispositif et des conditions du site. Les moteurs ou tout autre équipement électrique doivent être placés au-dessus du niveau maximal des hautes eaux.

Il n'est pas fréquent, pour l'alimentation en eau des collectivités, de réaliser la canalisation d'adduction avec une charge considérable. Les pompes sont alors souvent du type centrifuge (circulation-radiale).

Dans les usines de production d'eau, de nombreuses pompes doivent fonctionner de façon presque continue pendant de longues périodes. Un petit accroissement du rendement peut représenter une économie considérable dans les coûts de fonctionnement sur une longue période de temps. Cependant, pour les alimentations en eau des petites collectivités, une condition encore plus importante est que l'on puisse faire confiance à chacune des pompes en service. Les courbes caractéristiques "charge/débit" et "rendement" sont fournies par les fabricants (voir figure 18.11.).

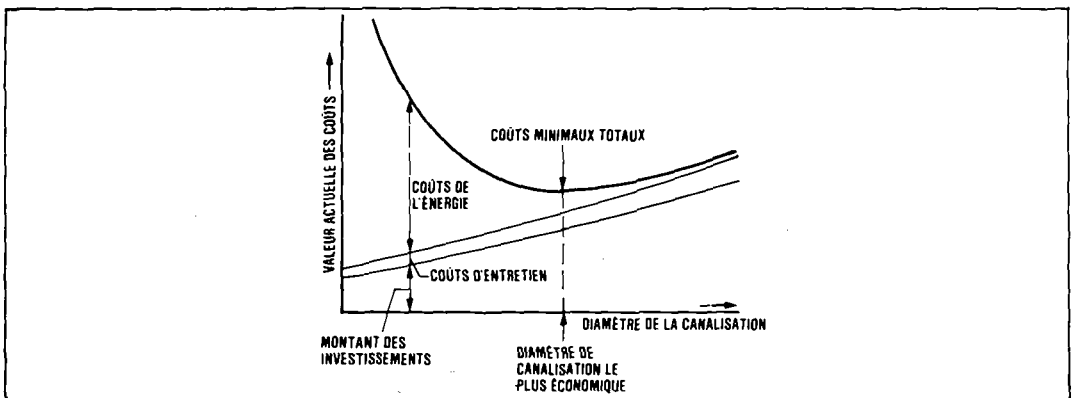


Figure 18.10
Détermination du diamètre économique

En pratique, il est rarement possible de maintenir en permanence la pompe à son rendement maximal; le point caractérisant le fonctionnement de la pompe est en effet déterminé à la fois par la charge et par le débit et ceux-ci peuvent varier considérablement. Le rendement des pompes à faible débit fonctionnant dans les conditions des zones rurales des pays en voie de développement est fréquemment très faible. On peut l'estimer à 30 % pour une pompe de 0,4 kilowatt, alors qu'il est de 60 % pour une pompe de 4 kilowatt.

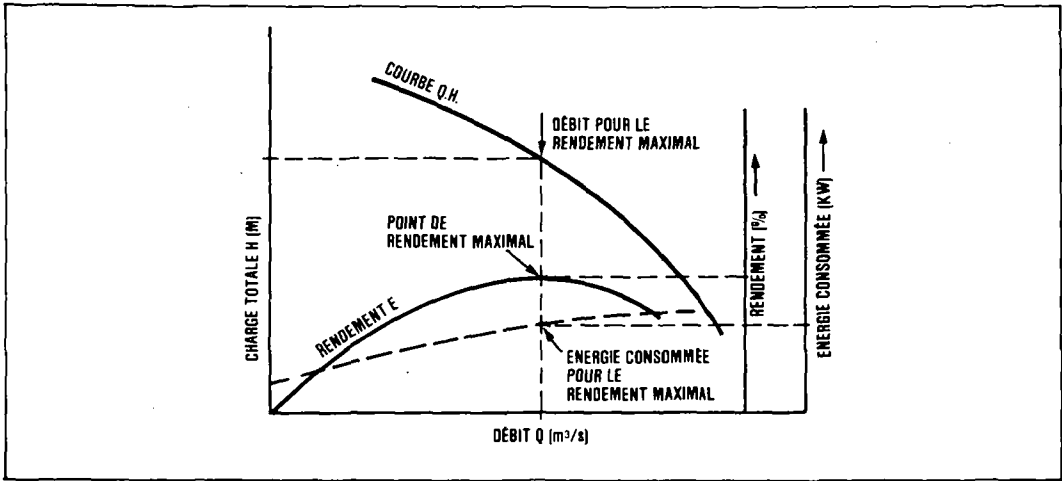


Figure 18.11.
Courbes caractéristiques types d'une pompe

Puissance nécessaire

La puissance nécessaire pour une unité de pompage peut être calculée par la formule suivante :

$$N = \frac{\rho \cdot g \cdot Q (H_s + i \cdot L)}{e}$$

dans laquelle :

N = puissance nécessaire (watts)

Q = débit de pompage (l/sec)

ρ = poids spécifique de l'eau (Kg/dm^3)

e = rendement du pompage (pour cent)

H_s = charge statique (m)

i = perte de charge en exploitation (m de charge/m de conduite)

L = longueur de la conduite (m)

Pour $g = 9,81 \text{ m/sec}^2$; $\rho = 1 \text{ g/cm}^3$ et e estimé à 50 % pour les pompes de petite capacité, la formule ci-dessus peut être simplifiée

$N = 20 Q (H_s + i \cdot L)$ watts

Exemple :

Le débit de pompage pour une alimentation en eau étant fixé à 110.000 litres pour 12 heures, avec une charge statique de 26 m, avec une canalisation de 450 m de longueur, on demande le diamètre de la canalisation et la puissance nécessaire pour le pompage.

$$Q = \frac{110.000}{12 \times 3.600} = 2,55 \text{ l/seconde}$$

Le tableau 18.2. indique que, pour un débit de 2,55 l/sec., on peut choisir une canalisation de 50 mm de diamètre ayant une perte de charge de 43 m/km. La puissance nécessaire est :

$$N = 20 \times 2.55 (26 + 0,043 \times 450) = 2.310 \text{ watts} = 2,3 \text{ kilowatts}$$

Installations des pompes

Les stations de pompage peuvent être de type immergé (avec des pompes submersibles ou des pompes actionnées par des moteurs placés au-dessus de la pompe dans le puisard), ou du type hors eau (pompe installée dans une salle).

Afin de faciliter leur mise en place, les pompes horizontales sont placées parfois au-dessus du niveau du sol. Dans ce cas, la pompe doit être du type à auto-amorçage, ce qui n'est pas à conseiller pour les installations d'alimentation en eau dans les zones rurales.

On trouvera des exemples d'installations de différentes pompes sur les figures 18.12 et 18.13.

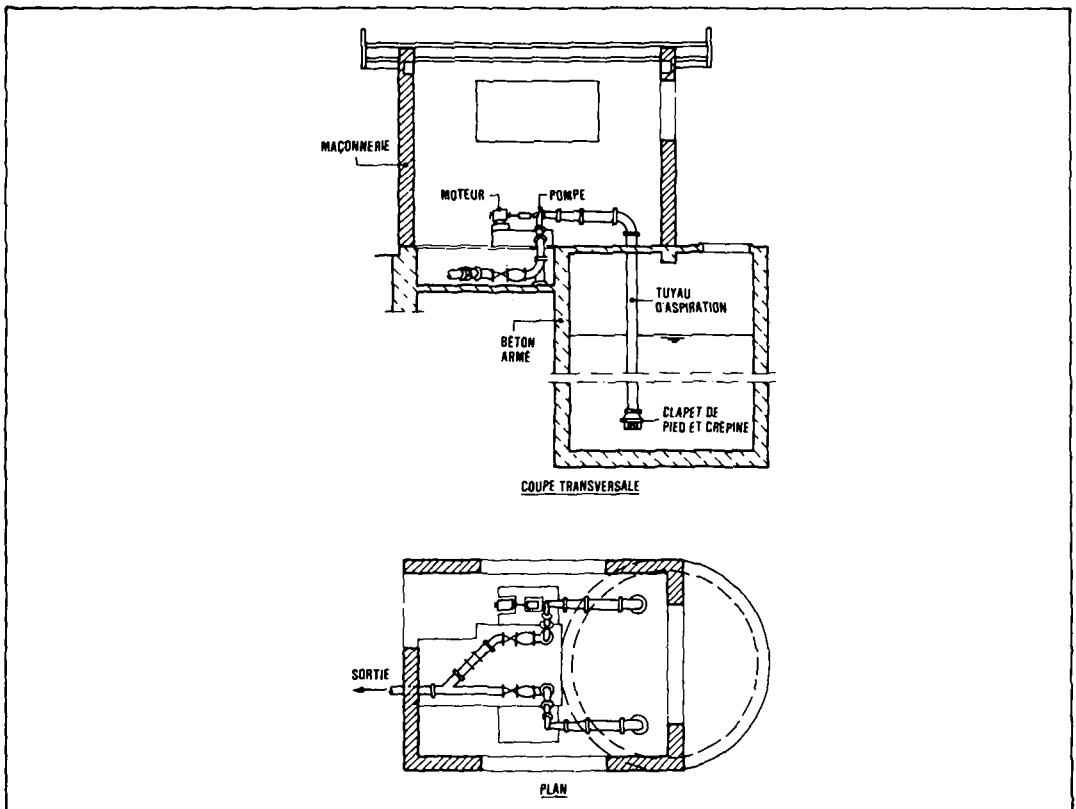


Figure 18.12.
Station de pompage comportant des pompes horizontales (auto-amorçantes)

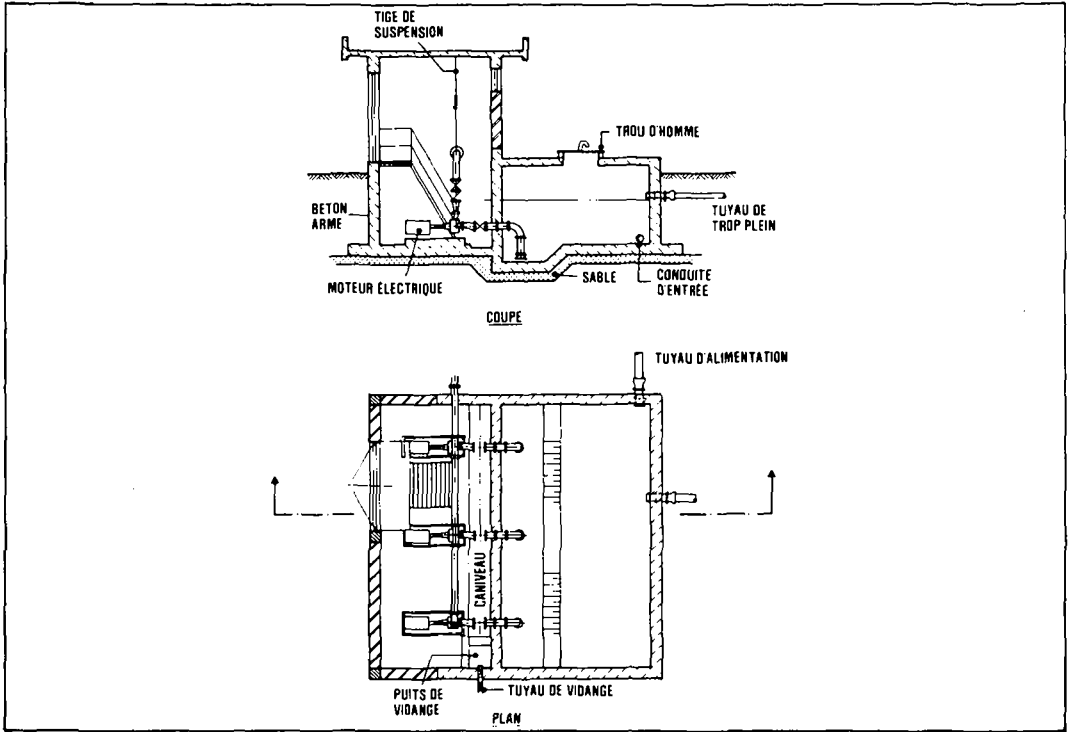


Figure 18.13.
Installation de pompage hors eau

18.6 Canalisations

Les canalisations représentent fréquemment un investissement considérable; le choix du type de canalisation est donc très important. Les tuyaux sont disponibles en différents matériaux, tailles et classes pour la résistance aux pressions. Les matériaux les plus habituels sont la fonte, la fonte ductile, l'acier, le fibrociment, le chlorure de polyvinyle (PVC) et le polyéthylène à forte densité.

A part cela, des matériaux locaux, tels que le bambou, ont parfois une utilisation limitée.

Le choix d'un type de canalisation dans une situation donnée dépend de sa disponibilité sur le marché, de son prix, des diamètres et des classes de pression disponibles, des risques de dommages du fait de corrosions ou d'accidents mécaniques. Bien que les conditions varient d'un pays à l'autre, les observations générales suivantes s'appliquent à la plupart des cas.

La fonte ductile et l'acier sont les matériaux les plus solides qui en font des canalisations de premier choix lorsqu'on doit opérer sous des pressions élevées. Cependant, les coûts des équipements, des vannes... augmentent rapidement pour les tuyaux à hautes pressions; il est, alors, souvent conseillé de réduire le plus possible la pression interne dans les conduites en disposant une vanne de réduction de la pression ou, ce qui est généralement plus fiable, un bassin brise charge.

Le fibro-ciment peut moins bien convenir pour l'adduction principale. On peut en effet craindre l'exécution d'une prise d'eau clandestine non-autorisée. Ce matériau risque de plus de se fissurer lorsqu'il est taraudé sans faire appel à un personnel spécialement compétent.

L'établissement d'une prise d'eau non autorisée sur une canalisation en plastique rigide (PVC) est également difficile à prévenir. Les conduites en acier et en fonte ductile sont presque impossibles à tarauder sans outils et équipements spéciaux.

Les conduites en plastique sont résistantes à la corrosion. Le PVC souffre, cependant, d'une perte certaine de résistance lorsqu'il est exposé pendant longtemps au soleil. On doit donc prendre soin de recouvrir les canalisations en PVC lorsqu'elles sont stockées en plein air.

Le polyéthylène à forte-densité est un matériau très satisfaisant pour les installations de petit diamètre, car il peut être fourni en tourets (pour des diamètres de tuyau ne dépassant pas 160 mm). Le nombre de joints est alors très réduit. Dans les cas où des matériaux rigides nécessiteraient un nombre considérable de pièces spéciales telles que des coudes, la flexibilité du polyéthylène en fait un matériau idéal. Le polyéthylène ne se détériore pas lorsqu'il est exposé directement à la lumière du soleil.

En résumé, pour les conduites de petit diamètre (moins de 150 mm), le polyéthylène et le PVC sont les matériaux à conseiller. Pour les conduites de taille moyenne (diamètres jusqu'à 300 à 400 mm), on portera attention au fibrociment. La fonte, fonte ductile et l'acier sont en général utilisés que pour les installations de grand diamètre, et aussi dans les cas où de très hautes pressions obligent à y recourir pour des conduites de petit diamètre.

Mises à part les vannes de fermeture et les vannes de non-retour disposées à l'aval des pompes dans le cas d'une alimentation par pompage, divers types de vannes et d'équipements sont utilisés sur l'adduction principale. Etant donné que la canalisation suivra normalement le terrain, il convient de prévoir des dispositifs pour évacuer l'air qui s'accumule aux points hauts et pour éliminer les dépôts qui se produisent aux points bas. Les ventouses (voir figure 18.4.) doivent être prévues à tous les points hauts de la canalisation et peuvent également être disposées en des points intermédiaires sur des canalisations de grande longueur ayant une pente régulière.

Pour éviter les sous-pressions, on peut également utiliser des vannes d'admission d'air. Elles introduiront de l'air dans la canalisation lorsque la pression interne tombe

en dessous d'une certaine valeur. Aux points bas de la canalisation, des vannes d'écoulement et de décharge doivent être installées pour faciliter la vidange ou le rinçage de la canalisation.

Tableau 18.3.
Comparaison de matériaux utilisés pour les conduites

Matériau	P.V.C. et Polyéthylène	Fibro- ciment	Fonte non revêtue	Fonte ductile revêtue de ciment	Acier Non revêtu	Acier Revêtu de ciment
1. Prix de la conduite	+	+	-	-	-	-
2. Disponibilité en diamètres importants	-	-+	+	+	+	+
3. Résistance mécanique	+ -	+	++	++	++	++
4. Résistance à la fissuration en cas de perçage réalisé en fraude	+	-	++	++	++	++
5. Résistance à la corrosion	++	+ -	+ -	+	-	-

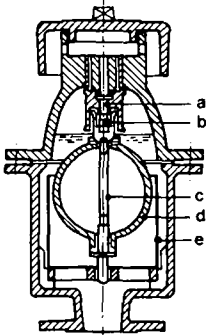
++ : Très adapté
+ : Bien adapté
+ - : Adapté
- : Peu adapté

Pour de longues canalisations, des robinets-vannes doivent être installés pour permettre d'isoler des tronçons de la canalisation aux fins d'examen ou de réparations.

Lorsqu'on dispose de deux conduites jumelées établies parallèlement, il est avantageux de les relier à intervalles réguliers. En cas de fuite ou de rupture de canalisation, on n'aura à mettre hors service qu'une des sections interconnectées tandis que l'autre section de cette canalisation principale et l'ensemble de l'autre continueront d'être utilisés. Ainsi, la capacité de transport de conduites jumelées se trouve à peine réduite. On doit dire que cet avantage n'est pas complètement gratuit car chaque liaison entre les réseaux à conduites jumelées nécessite l'établissement d'au moins cinq vannes.

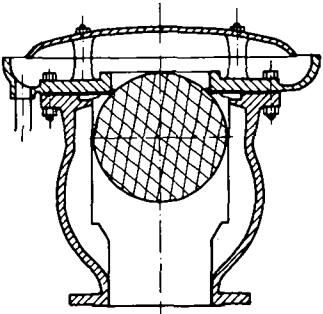
Les vannes à glissières sont complètement ouvertes ou complètement fermées. Pour les conduites d'un diamètre égal ou inférieur à 350 mm, on peut n'utiliser qu'une seule vanne. Pour des diamètres plus importants, on disposera un bypass de petit diamètre muni d'une deuxième

vanne; sinon la fermeture de la vanne de grand diamètre pourrait être très difficile. Dans les cas où le débit de l'eau doit être limité au moyen d'une vanne, on utilisera des vannes papillons. Ce type de vanne peut également être utilisé à la place des vannes à glissière mentionnées ci-dessus, mais leur coût est en général élevé.

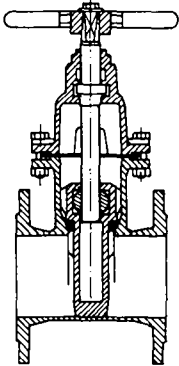


- a = OUVERTURE DE LA VENTILATION
- b = AIGUILLE
- c = FLOTTEUR
- d = FLOTTEUR
- e = TAMIS

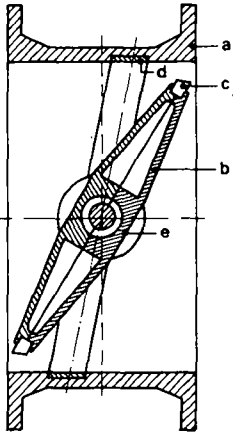
VENTOUSE



VANNE D'ADMISSION D'AIR



VANNE À GLISSIÈRE



- a = CORPS DE LA VANNE
- b = DISQUE
- c = ÉTANCHÉITÉ DU DISQUE
- d = SIÈGE DE LA VANNE
- e = ARBRE

VANNE PAPILLON

Figure 18.14.
Divers types de vannes

Transport de l'eau

Azevedo Netto, J.M.; Alvarez, G.A.

MANUAL DE HIDRAULICA

Edgard Blücher Editor, Sao Paulo, 1975

Bartlett, R.E.

PUMPING STATIONS FOR WATER AND SEWAGE

Applied Science Publishers Ltd., London, 1974

Dominguez, F.J.

CURSO DE HIDRAULICA

G. Gili Editor, Santiago del Chile, 1945

Fair, G.M.; Geyer, J.C.; Okun, D.A.

WATER AND WASTEWATER ENGINEERING (1st Volume)

John Wiley & Sons, New York, 1966

King, H.W.

HANDBOOK OF HYDRAULICS

McGraw-Hill Book Co., New York, 1930

MANUAL OF BRITISH WATER SUPPLY PRACTICE

Institution of Water Engineers, London, 1950

Schlag, A.

HYDRAULIQUE GENERALE ET MECANIQUE DES FLUIDES

Liège, 1950

Trueba Coronel, S.

HIDRAULICA

Mexico, 1955

19. distribution de l'eau

19.1 Introduction

Le système de distribution de l'eau (ou réseau) permet de transporter l'eau prélevée sur la ressource et traitée si nécessaire, jusqu'au point où elle est mise à la disposition des consommateurs. Pour les distributions d'eau intéressant de petites collectivités, le système de distribution et tous les équipements de stockage (par exemple le réservoir) doivent être simples. Même alors le dispositif représente un investissement substantiel et doit être correctement conçu.

De façon générale, le réseau desservant une petite collectivité est établi pour satisfaire tous les besoins en eau propres à l'habitation. On peut également alimenter des réservoirs pour l'arrosage et les besoins du jardinage.

La demande d'eau d'une collectivité varie considérablement au cours d'une journée. La consommation est la plus élevée durant les heures où l'eau est utilisée pour l'hygiène personnelle, la lessive, la préparation des repas et le nettoyage de la maison. Durant la nuit, la demande en eau sera très réduite.

Les réservoirs permettent d'accumuler l'eau pendant la nuit pour pouvoir satisfaire la demande durant les heures de pointe de la journée.

Il est nécessaire de maintenir une pression suffisante dans le réseau de distribution pour le préserver de toute contamination du fait d'une infiltration d'eaux polluées. Pour les réseaux de petites collectivités, une pression minimale de 6 m. d'eau devrait convenir dans la plupart des cas.

19.2 Réseaux de distribution

Il existe deux types principaux de réseaux de distribution :

- 1 - Réseau ramifié (figure 19.1a)
- 2 - Réseau maillé (figure 19.1b)

En général les réseaux ramifiés ne sont utilisés que pour des collectivités de faible importance dans lesquelles l'eau est surtout distribuée par bornes fontaines, les branchements aux habitations étant rares, voire inexistantes. Pour des distributions plus importantes on utilise plutôt des réseaux maillés alimentés par un bouclage.

Les réseaux ramifiés ont l'avantage que l'eau y progresse dans une direction bien déterminée. Le sens de l'écoulement et le débit de l'eau dans toutes les conduites peuvent être déterminés rapidement. Ce n'est pas aussi facile dans un réseau maillé où chaque conduite secondaire peut être alimentée de deux côtés. Cela influence largement la conception hydraulique du réseau de distribution. C'est également très important dans le cas où l'une des conduites principales est hors service (par exemple pour nettoyage, ou pour réparations). Un réseau

maillé comporte habituellement une conduite de ceinture à laquelle sont reliées les canalisations secondaires. En général, dans les grands réseaux de distribution (urbaine), les conduites secondaires sont toutes inter-connectées, ce qui exige beaucoup de vannes et de pièces spéciales (figure 19.2.).

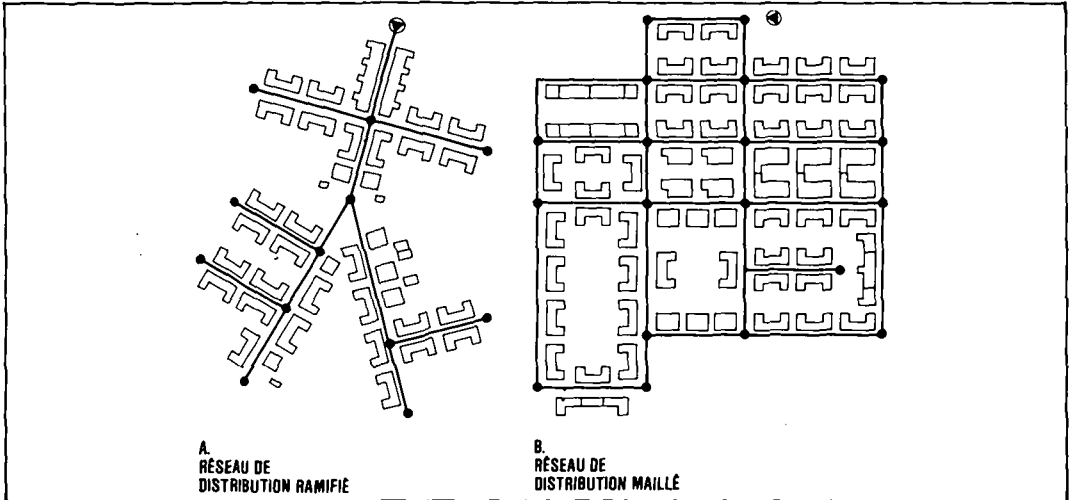


Figure 19.1.
Systèmes de distribution types

Pour les petits réseaux de distribution, les conduites secondaires peuvent ne pas être interconnectées; cela pourra être avantageux compte tenu de l'économie considérable qui en résultera (figure 19.3.).

Le nombre et le type des installations qui fournissent l'eau aux consommateurs ont une influence considérable sur la conception d'un réseau de distribution.

On peut distinguer :

- le branchement d'immeuble
- le branchement de cour
- les bornes fontaines.

Un branchement d'immeuble comporte une conduite reliée à une installation intérieure comportant un ou plusieurs robinets, par exemple dans la cuisine et dans la salle d'eau. On utilise en général des robinets de 3/8 pouce (9 mm) et 1/2 pouce (12 mm). La figure 19.4. fournit une vue d'installation type.

La canalisation desservant l'immeuble est reliée au réseau de distribution publique par des pièces en forme de T, sur des conduites de faible diamètre, et par des pièces spéciales sur les conduites secondaires de taille importante. On utilise presque toujours pour les con-

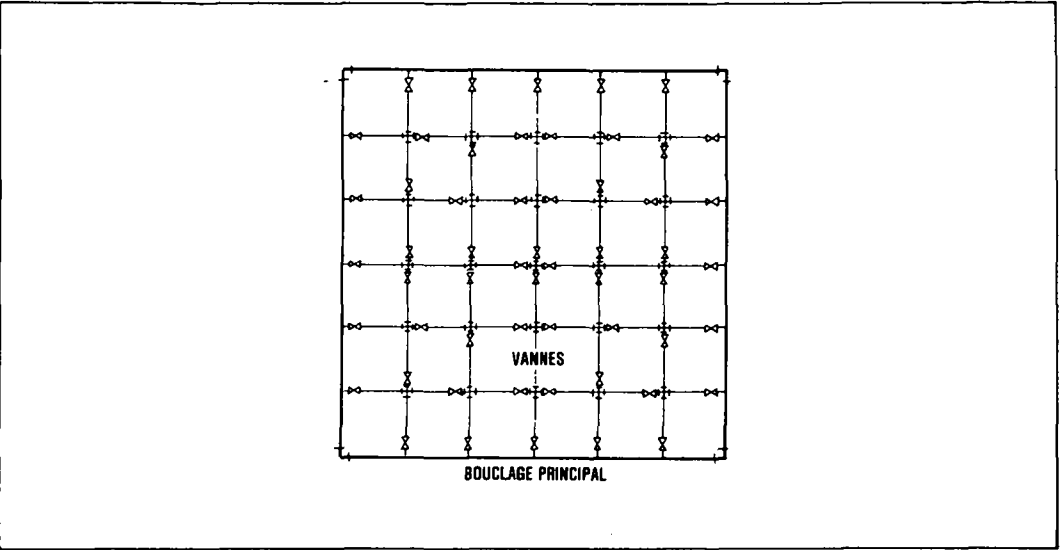


Figure 19.2.
Réseau complètement inter-connecté

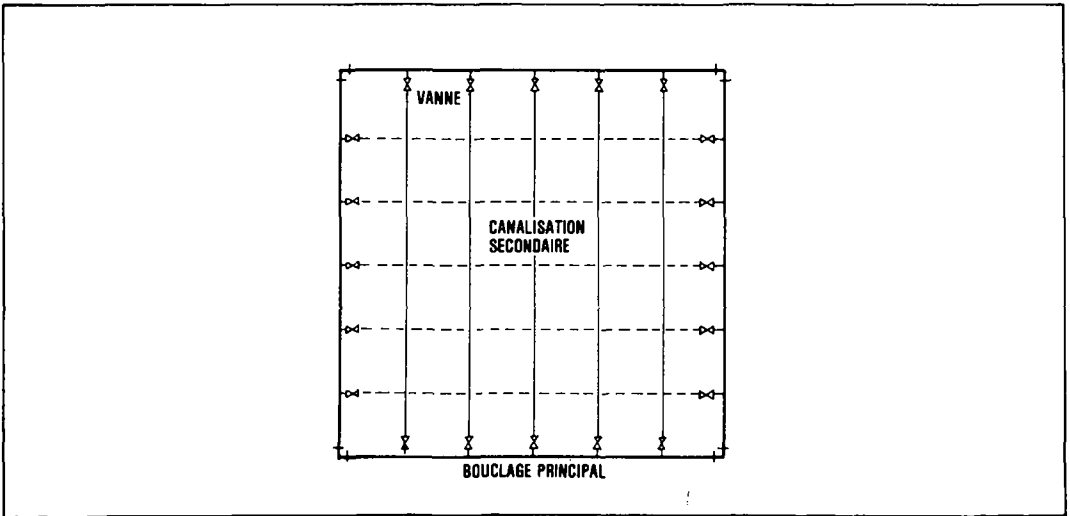


Figure 19.3.
Réseau à canalisations secondaires non interconnectées

duites en fonte et en fonte ductile une pièce spéciale permettant d'assurer la fermeture du branchement.

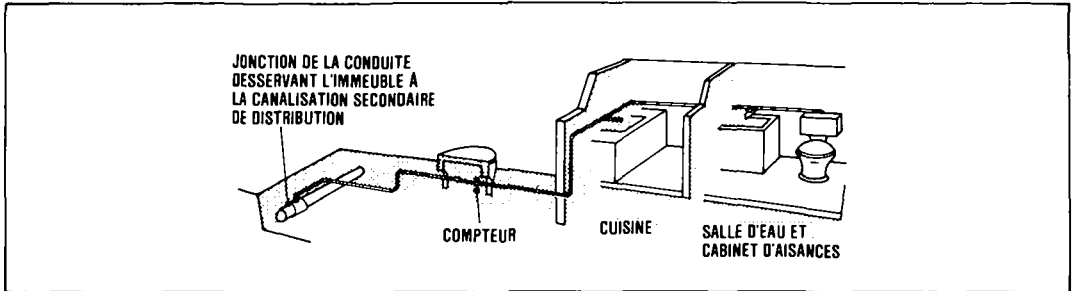


Figure 19.4.
Branchement d'immeuble

Un branchement de cour est très semblable au branchement d'immeuble, la seule différence étant que le ou les robinets sont placés dans la cour à l'extérieur de la ou des maisons. La collectivité ne fournit aucune canalisation ni aucun appareil pour les installations intérieures (figure 19.5.).

On utilise des conduites en plastique (PVC ou PE), en fonte ou en acier galvanisé tant pour les branchements d'immeubles que pour les branchements de cour.

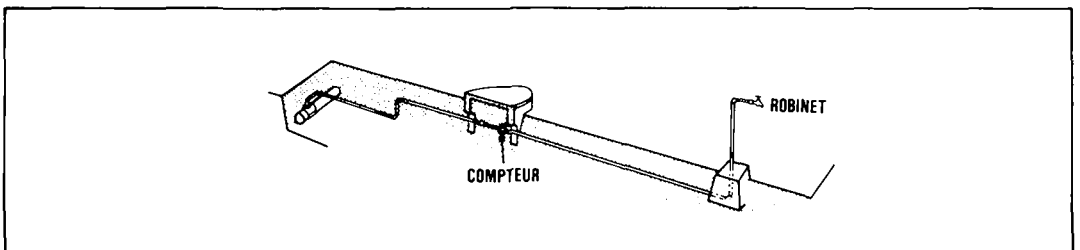


Figure 19.5.
Branchement de cour

On a utilisé pendant longtemps des bornes fontaines publiques pour la distribution de l'eau; pour des raisons de coûts et de faisabilité technique, on y aura recours pendant longtemps encore dans de nombreux pays. Chaque borne fontaine devrait être installée à un emplacement convenable permettant de limiter la distance qu'auront à parcourir les usagers pour s'approvisionner. Cette distance, pour l'utilisateur le plus éloigné de la borne fontaine, devra,

si possible, ne pas dépasser 200 m; dans les zones rurales à population dispersée 500 m. sont acceptables. Le débit que doit fournir une borne fontaine est d'environ 14 à 18 litres par minute à chaque robinet. Une borne-fontaine à un seul robinet ne devrait pas desservir plus de 40 à 70 personnes; avec plusieurs robinets, elle peut raisonnablement desservir 250 à 300 personnes; en aucun cas le nombre des utilisateurs d'une borne fontaine ne devra dépasser 500.

Les bornes-fontaines publiques peuvent fonctionner à faible pression. Les systèmes de distribution ne desservant que des bornes-fontaines peuvent, ainsi, n'utiliser que des canalisations pour faible pression. Les conduites pour les réseaux de distribution comportant des branchements d'immeubles doivent en général être du type à haute pression.

Les pertes d'eau des bornes-fontaines, spécialement lorsque les utilisateurs oublient de fermer les robinets, peuvent poser un problème grave. Il est aussi courant que les robinets soient endommagés par les utilisateurs. On observe également parfois de menus larcins. Une évacuation mal conçue de l'eau déversée peut provoquer des stagnations d'eau sale avec tout ce que cela comporte de risques de maladie.

L'eau obtenue à la borne-fontaine publique devra être transportée à la maison dans un récipient (seau, jerrican, vase, pot, etc...). L'eau qui était propre au moment où on la recueille peut alors ne plus l'être lorsqu'on l'utilise à la maison. La consommation d'eau, lorsqu'on l'obtient aux bornes-fontaines, ne dépasse généralement pas 20 à 30 litres par personne et par jour. L'eau utilisée à d'autres fins que la boisson et la cuisine sera probablement alors en quantité assez réduite. Les branchements de cour et d'immeuble incitent à utiliser de plus grandes quantités d'eau pour l'hygiène personnelle et le nettoyage.

Les bornes-fontaines publiques peuvent comporter un ou plusieurs robinets. Les bornes fontaines à un seul robinet et à deux robinets sont très fréquentes dans les zones rurales. Elles sont construites en briques, en maçonnerie ou en béton, ou avec des poteaux de bois ou des matériaux similaires. Les bornes-fontaines peuvent comporter des plate-formes à différents niveaux qui les rendent d'accès facile aux adultes et aux enfants et leur permettent de remplir des récipients de différentes tailles. On trouvera des exemples sur les figures 19.6. et 19.7. On utilise aussi des robinets publics qui délivrent l'eau à partir d'un petit réservoir (figure 19.8.).

En dépit de leurs imperfections, les bornes-fontaines publiques constituent réellement le seul système pratique de distribution de l'eau à un coût minimal pour un grand nombre de personnes qui ne peuvent supporter les coûts plus importants qu'entraîneraient les branchements d'immeubles ou de cours. L'habitation n'est pas toujours construite pour permettre la mise en place d'une plomberie intérieure. De plus, il est souvent impossible pour une petite collectivité de réaliser les investissements qu'exige un réseau de distribution d'eau comportant des branchements d'immeuble. Enfin la réalisation d'une telle adduction serait à l'origine des quantités considérables d'eaux usées, d'où une lourde charge financière supplémentaire pour les

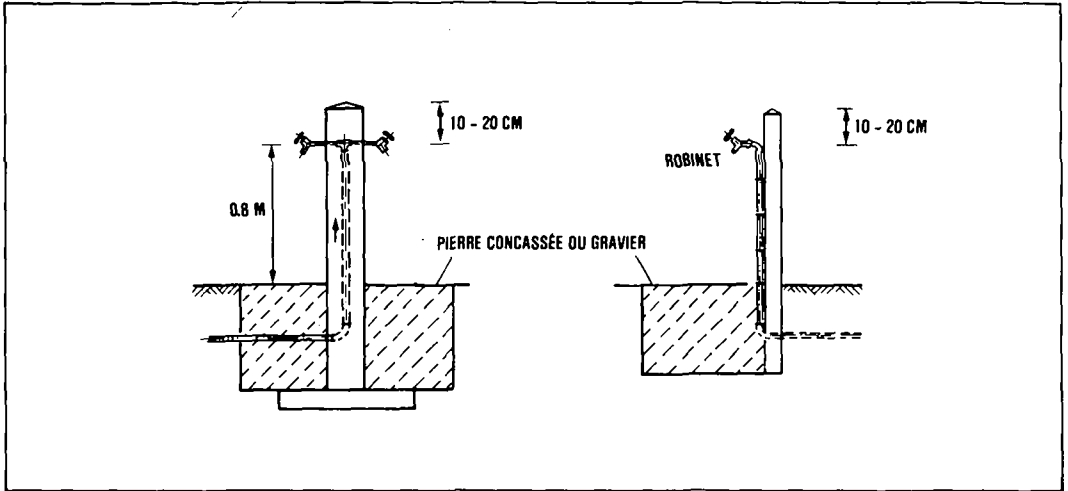


Figure 19.6.
Bornes-fontaines (coupe)

évacuer. Il est donc nécessaire de mettre en service des bornes-fontaines publiques et l'essentiel est de réduire autant que possible les inconvénients qu'elles peuvent présenter.

Développement échelonné des systèmes de distribution

L'expérience montre qu'il est possible de développer un système de distribution d'eau, par étapes au fur et à mesure que les conditions de vie de la collectivité s'améliorent et que des ressources deviennent disponibles. Aussi, lorsque l'on conçoit un réseau de distribution d'eau, il convient de prévoir autant que possible une mise en place de crédits qui permettra son évolution. L'ingénieur de conception doit prendre en compte la plus forte demande en eau par tête d'habitant, associée aux meilleures installations d'alimentation en eau possibles.

Le coût d'un système de distribution d'eau dépend principalement de la longueur totale des conduites installées, et beaucoup moins des diamètres de ces conduites. Il est, alors, généralement avantageux de concevoir dès le départ un système de distribution et, en tous cas, ses éléments essentiels pour le débit final qu'il devra fournir. Ceci même dans le cas où l'on n'établit qu'une partie du système de distribution futur, en ne desservant que quelques bornes-fontaines. Ainsi, pour commencer, on n'installera que quelques bornes-fontaines, relativement assez espacées, qui pourront probablement être desservies par une seule ou un petit nombre de conduites principales. Un réservoir surélevé sera très utile pour alimenter en toute sécurité le réseau de distribution, particulièrement si l'adduction repose sur un pompage.

A la prochaine étape, des bornes-fontaines supplémentaires seront installées pour réduire leur espacement et limiter la distance à parcourir par les consommateurs pour leur appro-

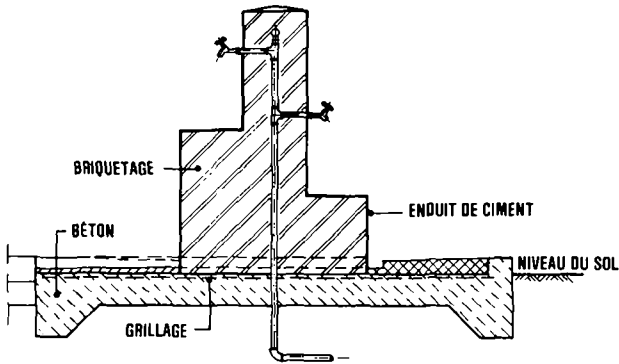


Figure 19.7.
Borne-fontaine à robinets multiples (coupe)

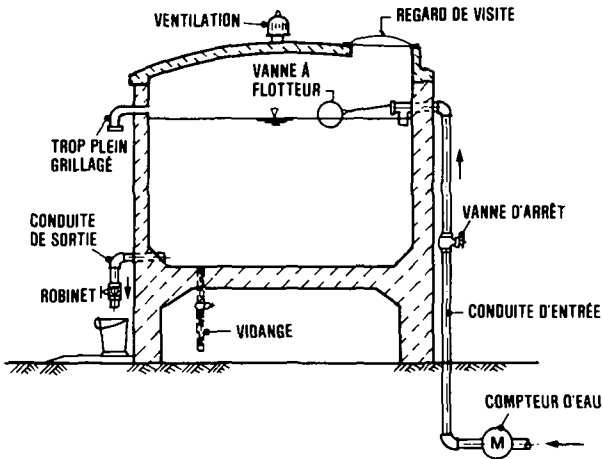


Figure 19.8.
Distribution par robinets à partir d'un petit réservoir

visionnement en eau. Ceci peut exiger la mise en place de plusieurs canalisations de distribution principales et de conduites secondaires desservant les noyaux de population les plus denses. Lorsque ce niveau de base du service d'eau a pu être étendu à toute la collectivité, l'installation de robinets dans les cours et la réalisation de branchements peuvent suivre. Ceux-ci seront probablement en concurrence avec l'aménagement de bornes-fontaines supplémentaires qui améliorera le service rendu aux consommateurs dépendant de ce type d'approvisionnement.

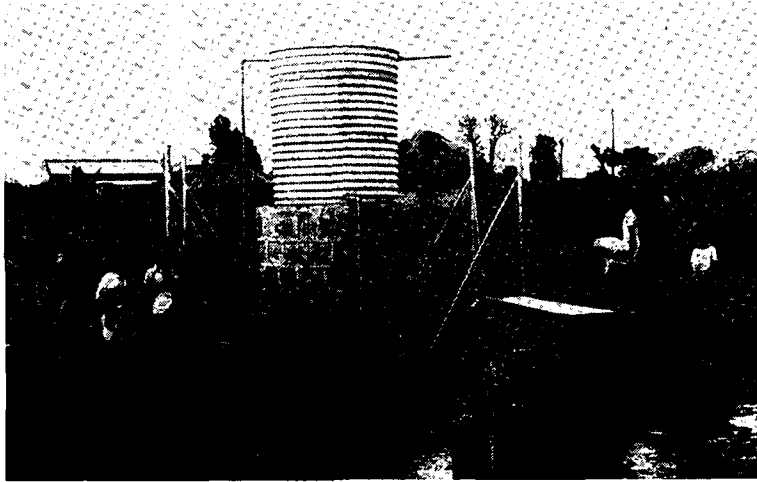


Figure 19.9.
Borne communale alimentée par un réservoir surélevé (Kenya)

Le développement échelonné d'un système de distribution suivra ainsi la croissance effective de l'utilisation de l'eau dans la collectivité. Cela tient compte du fait que dans les premières années de nombreuses habitations existantes ne possèdent ni les installations ni les appareils de plomberie nécessaires pour un branchement d'immeuble.

19.3 Considérations concernant la conception des réseaux

Demande d'eau; Facteurs de pointe

La demande journalière d'eau dans une collectivité variera au cours de l'année en fonction des fluctuations saisonnières, du climat, de la situation du travail (par exemple au temps de la moisson) et d'autres facteurs tels que les manifestations culturelles ou religieuses. Les estimations indiquées au chapitre 3 pour l'usage domestique de l'eau et autres besoins en eau correspondent à des moyennes. La demande maximale quotidienne est en général estimée de 10 à 30 % supérieure à la demande quotidienne moyenne. Ainsi, le facteur de pointe à appliquer à la demande quotidienne (k_1) varie de 1,1 à 1,3.

La variation horaire dans la demande d'eau durant la journée est fréquemment beau-

coup plus importante. En général, deux périodes de pointe peuvent être observées, l'une le matin et l'autre tard dans l'après-midi (figure 19.10.). La demande pendant l'heure de pointe peut être obtenue en multipliant la demande moyenne horaire par le facteur de pointe horaire (k_2). Pour une zone particulière de distribution, ce facteur dépend de la taille et des caractéristiques de la collectivité desservie. Le facteur de pointe horaire tend à être élevé pour des très petits villages; il est en général moindre pour de plus grandes collectivités et pour les petites villes. Là où des réservoirs sont établis sur les toits ou lorsqu'on utilise d'autres moyens de stockage de l'eau, le facteur de pointe horaire sera plus réduit. En général ce facteur k_2 sera situé entre 1,5 et 2.

Un système de distribution d'eau est conçu pour satisfaire la demande horaire maximale. Cette demande de pointe horaire peut être calculée comme suit : $k_1 \times k_2 \times$ demande moyenne horaire.

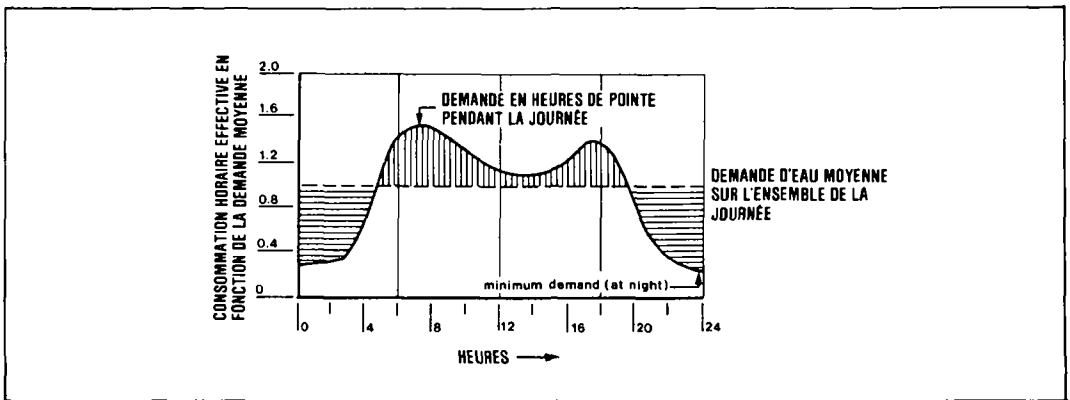


Figure 19.10.
Variation de la demande d'eau pendant une journée

Exemple

Pour une zone particulière de distribution, la demande moyenne quotidienne est estimée (utilisant les données du chapitre 3) à 500.000 litres/jour.

$$Q = \text{moyenne journalière} = 500.000 \text{ litres/jour}$$

$$Q = \text{pointe journalière} = 1,2 \times 500.000 = 600.000 \text{ litres/jour}$$

$$q = \text{moyenne horaire} = 600.000 / 24 = 25.000 \text{ litres/heure}$$

pour un jour de pointe

$$q = \text{pour l'heure de pointe} = 1,8 \times 25.000 = 45.000 \text{ litres/jour}$$

Réservoir de stockage

S'il n'existait pas de stockage de l'eau dans la zone de distribution, la ressource et la station de traitement devraient être capables de suivre toutes les fluctuations de la demande d'eau de la collectivité desservie. Cela n'est généralement pas judicieux sur le plan économique et parfois impossible sur le plan technique.

On détermine habituellement les capacités des divers composants d'un système d'alimentation en eau ainsi qu'il est indiqué sur la figure 19.11.

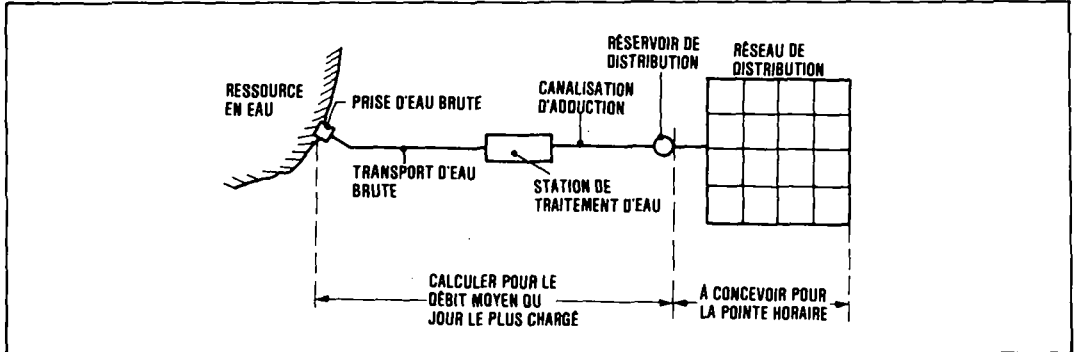


Figure 19.11.
Détermination de la capacité des composants d'un système d'alimentation en eau

En résumé :

<u>Composant du système</u>	<u>Débit à prévoir</u>
. Ressource d'eau; transport d'eau brute; station de traitement	- demande d'eau pour la pointe journalière
. Réseau de distribution	- demande d'eau pour la pointe horaire

Le réservoir de distribution permet d'équilibrer le débit constant de l'alimentation à partir de la ressource et du traitement de l'eau face à la demande fluctuante du réseau. Le volume de stockage devra être assez important pour équilibrer les différences qui interviennent entre la production et la demande.

Le volume à prévoir pour le stockage peut être déterminé comme il suit : La demande horaire estimée (exemple donné dans la figure 19.10.) est exprimée en pourcentage de la demande totale pour le jour de pointe; on trace la courbe figurant la demande cumulative (figure 19.12). La courbe figurant les débits cumulés dans une alimentation constante est tracée sur le même

diagramme; c'est une ligne droite (1).

Le volume de stockage nécessaire peut alors être lu sur le graphique. Pour une adduction à débit constant, 24 heures par jour, le stockage nécessaire est représenté par la somme des longueurs AA' et BB' (AA' + BB'), soit environ 28 % de la demande de pointe quotidienne totale. Si le débit d'adduction permet de satisfaire la demande quotidienne en 12 heures de pompage par jour, le stockage nécessaire est égal à (C-C') + (D-D'), soit environ 22 % de la demande de pointe quotidienne totale.

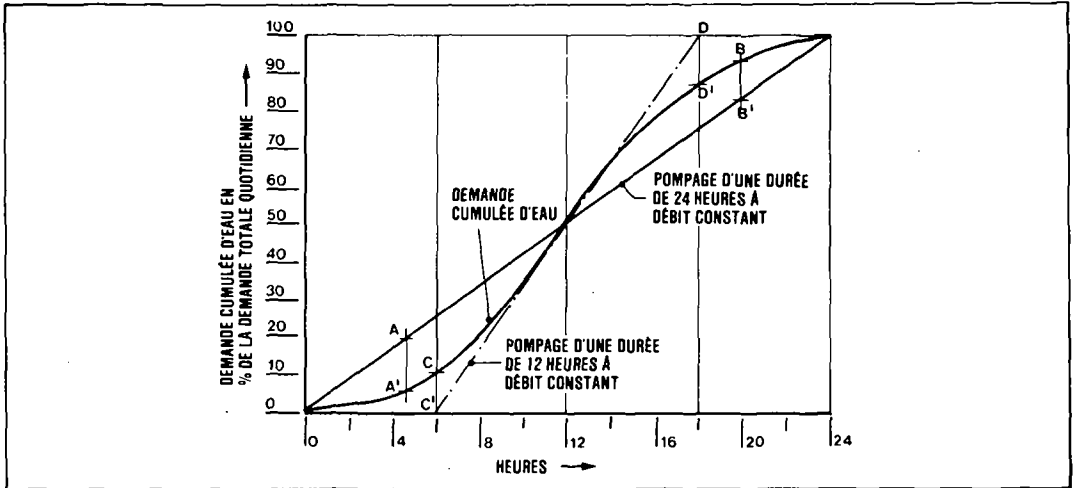


Figure 19.12.

Détermination graphique du volume de stockage nécessaire (réservoir de distribution)

Un réservoir de distribution avec un volume de stockage de 20 à 40 % de la demande journalière de pointe conviendra en général, encore qu'un réservoir plus important puisse être souhaitable dans des circonstances où toute interruption de l'alimentation en eau poserait des problèmes particulièrement sérieux.

Le réservoir sera situé aussi près que possible du réseau de distribution et à un niveau supérieur à celui de la zone de distribution. Si un tel site existe à une petite distance, on y implantera le réservoir. La figure 19.13. indique les aménagements possibles.

Dans les zones plates où il n'existe aucune colline ou autre point culminant où l'on puisse établir un réservoir au sol, on devra construire des réservoirs sur tour ou des bassins surélevés. En principe, ces réservoirs et ces bassins devront avoir le même volume de stockage

(1) Dans l'exemple, l'adduction fonctionne à débit constant. Si le débit de l'adduction n'est pas constant, les volumes d'eau cumulés fournis par l'adduction seront représentés par une ligne brisée.

qu'un réservoir au sol. En pratique, cependant, les réservoirs sur tour et les bassins surélevés ont des capacités relativement faibles car ils sont beaucoup plus coûteux qu'un réservoir au sol.

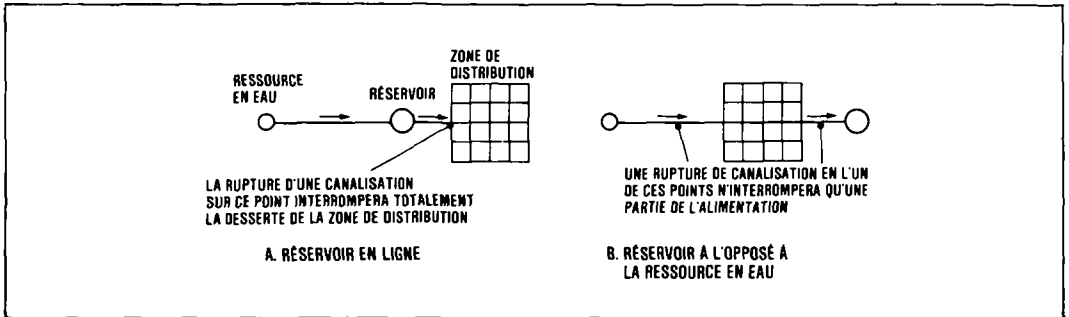


Figure 19.13.
Emplacement du réservoir

Parfois on réalise une combinaison d'un réservoir au sol et d'une station de pompage (figure 19.14.). Ceci, cependant, constitue en général un aménagement trop complexe pour l'alimentation en eau d'une petite collectivité.

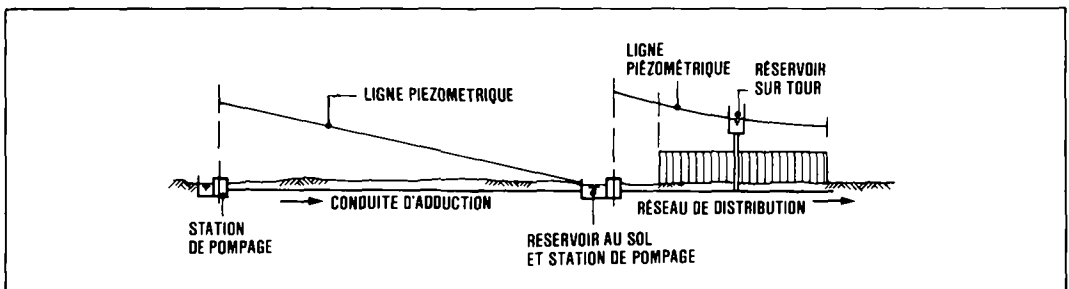


Figure 19.14.
Réservoir au sol avec station de pompage

Les réservoirs au sol d'une certaine taille sont normalement en béton armé; les petits réservoirs peuvent être en béton massif ou en briques. Les réservoirs sur tour sont en métal, en béton armé ou en maçonnerie de briques supportée par des éléments en béton. Les réservoirs en métal sont en général placés sur une structure en acier ou en bois.

Des exemples de petits réservoirs de distribution sont donnés sur les figures 19.15. et 19.16.

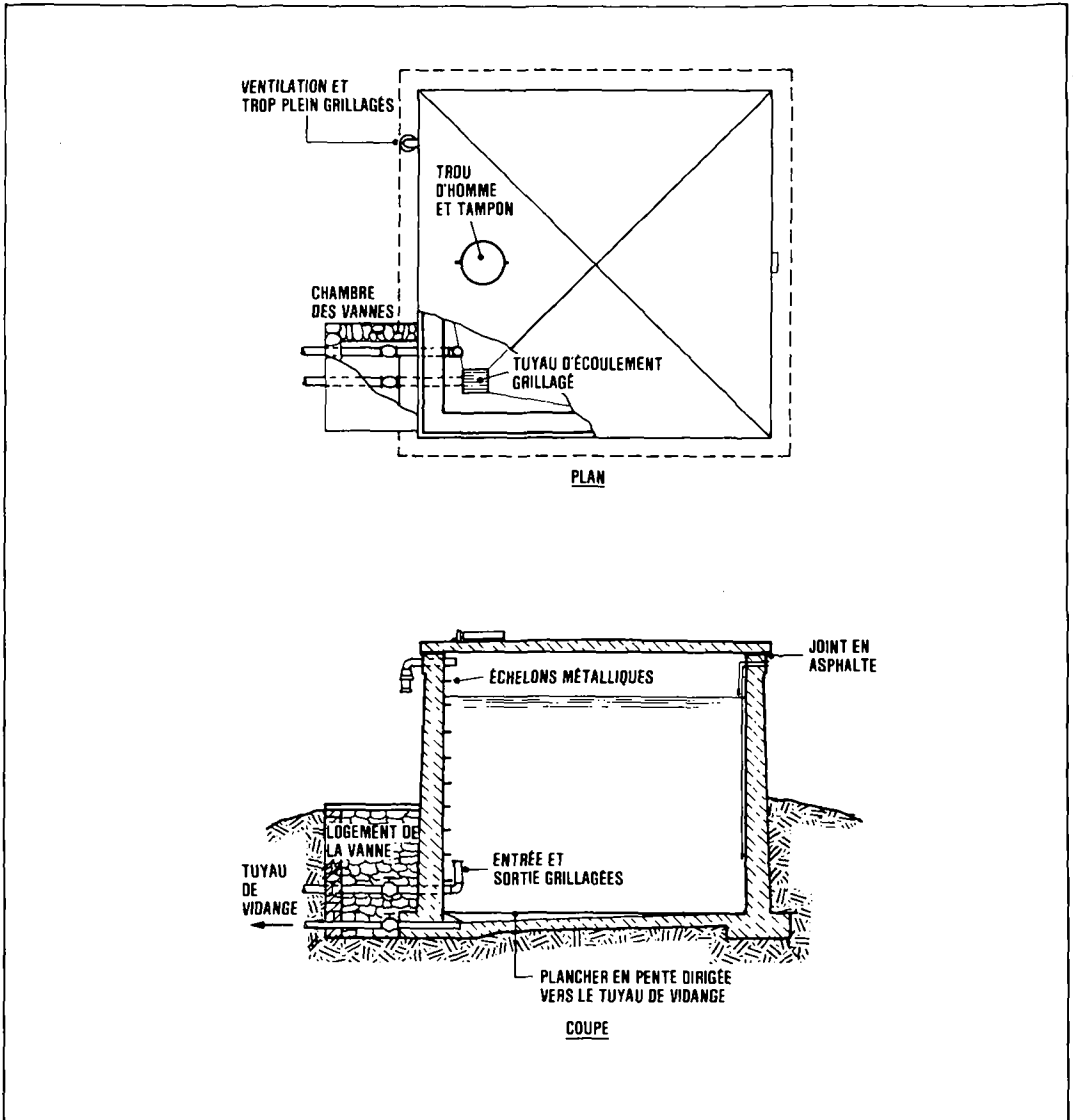


Figure 19.15.
Détails de construction pour de petits réservoirs

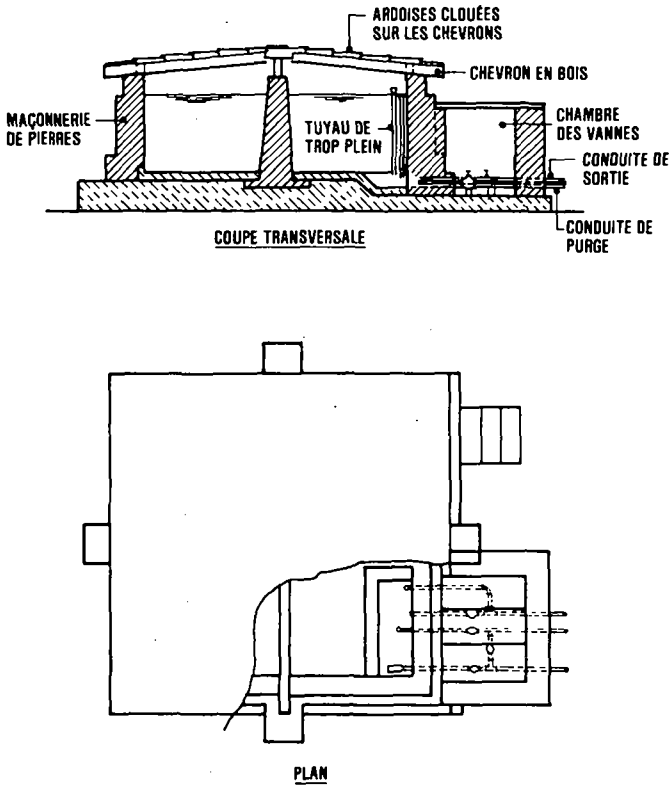


Figure 19.16.
Petit réservoir de distribution

La figure 19.17. représente un réservoir de distribution sur tour (bassin en métal sur support en maçonnerie de briques) et la figure 19.18. montre un bassin en briques comportant des armatures et supporté par des murs en maçonnerie.

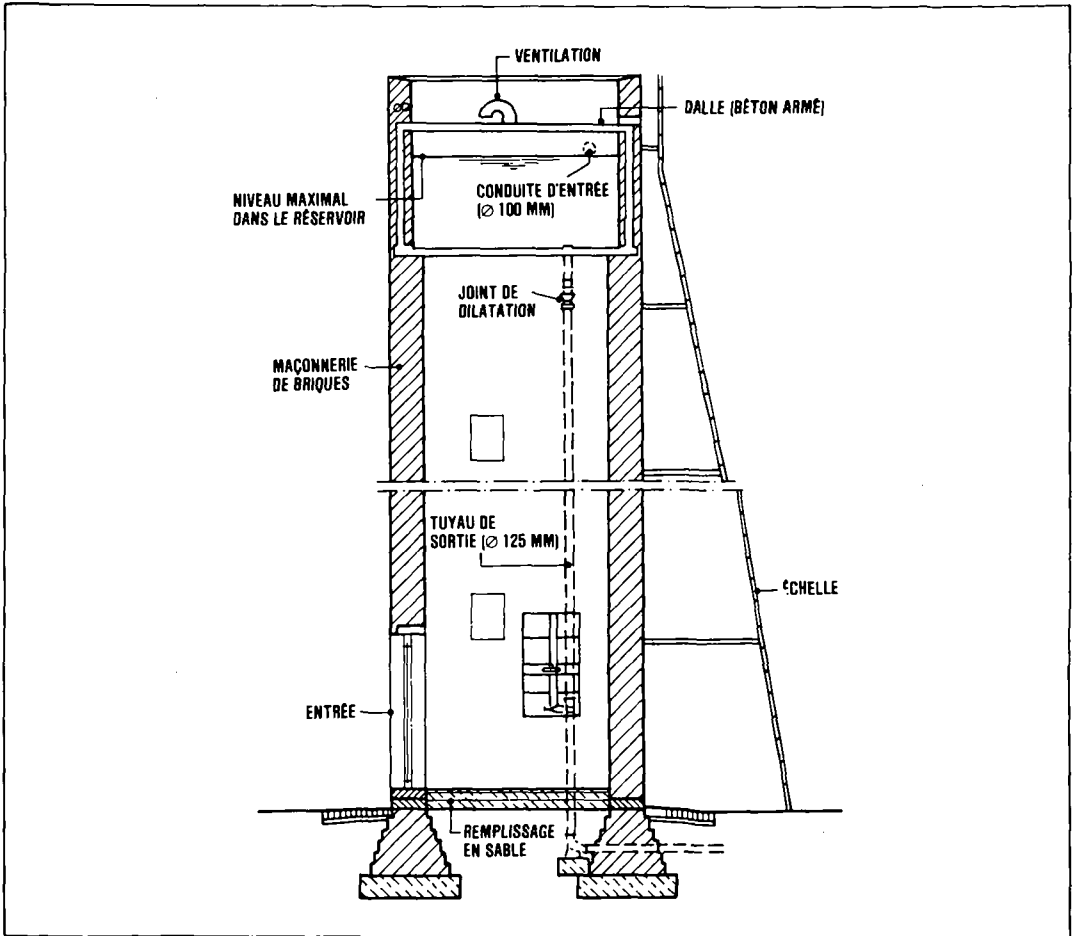


Figure 19.17.
Réservoir de distribution sur tour

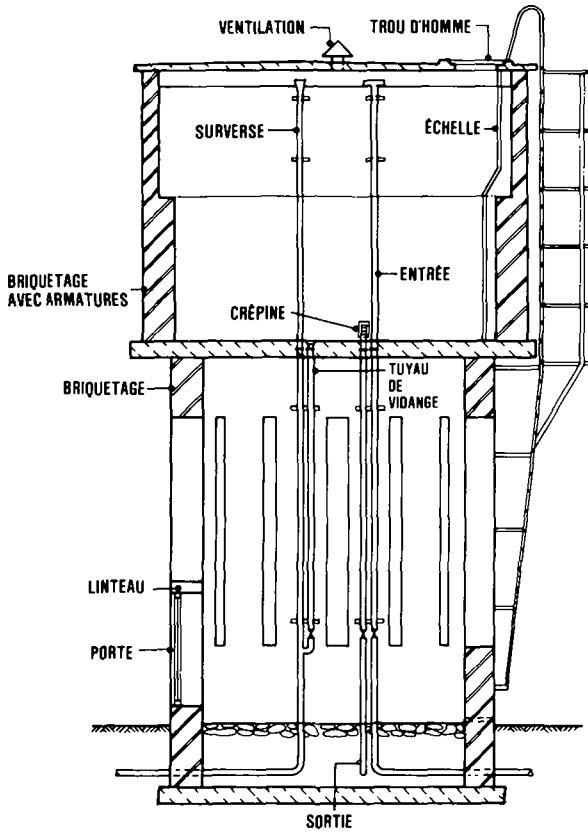


Figure 19.18.
Réservoir de distribution surélevé

19.4 Conception d'un système de distribution

Après avoir établi le plan général d'un système de distribution et déterminé ses composants principaux, on doit diviser la zone de distribution en un certain nombre de secteurs correspondant à la topographie, à l'occupation des sols et à la densité de la population. On délimitera ces secteurs à partir des rivières, des routes, en fonction des points hauts de des autres éléments qui caractérisent chaque secteur. Les canalisations principales de distribution et les conduites secondaires peuvent alors être tracées sur le plan.

Une fois tous les secteurs déterminés, le nombre des habitants de chacun d'eux peut être estimé ou calculé en utilisant toutes les données disponibles. La demande d'eau par secteur est alors calculée à partir des chiffres retenus pour la consommation par tête d'habitant (consommation domestique) et des valeurs retenues pour les utilisations d'eau non-domestiques.

L'eau sera prélevée en nombreux points au long des conduites, mais il est de pratique courante de concentrer tous les prélèvements aux noeuds du réseau de distribution. Cela simplifie beaucoup le calcul hydraulique alors que les erreurs ainsi introduites sont négligeables.

Ayant déterminé les prélèvements aux divers noeuds, on fixe a priori un sens pour l'écoulement de l'eau dans les canalisations et on peut alors estimer les diamètres des tuyaux. Les premières évaluations des diamètres nécessaires peuvent être faites comme il suit : La demande totale en eau à l'aval de chaque section étant connue, la valeur retenue a priori pour la vitesse du flot fournit une première estimation de la section transversale totale des conduites coupées par une section imaginaire (figure 19.19.). Les dimensions des diverses conduites peuvent alors être déterminées de telle manière qu'elles atteignent au total la section transversale totale précédemment déterminée.

Pour établir un schéma préliminaire d'un petit réseau de distribution, on peut employer une méthode très simple en considérant le débit d'eau par mètre de conduite de distribution. Ce débit est, naturellement, très influencé par le type de distribution : bornes-fontaines publiques, robinets dans la cour, branchements d'immeubles ou une combinaison de tout cela.

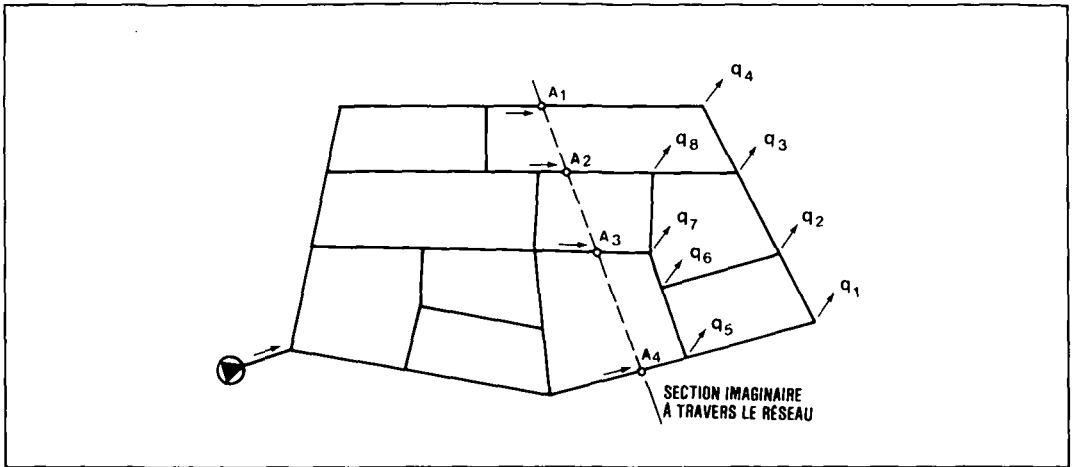


Figure 19.19.
Méthode de la section imaginaire

L'exemple suivant illustre cette méthode simplifiée (figure 19.20.).

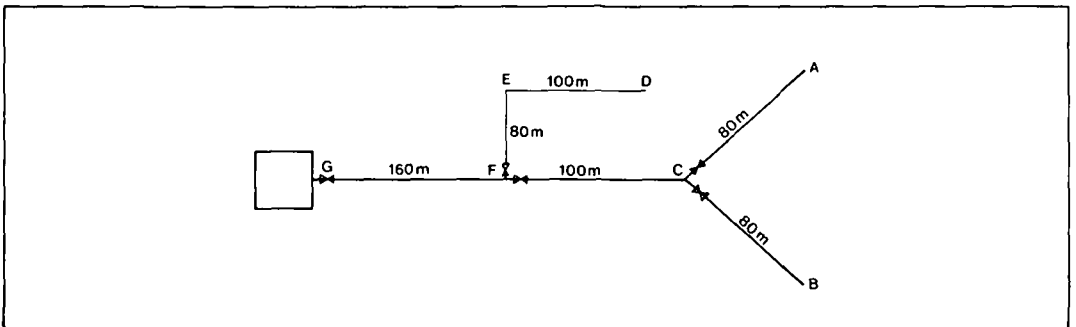


Figure 19.20.
Schéma d'un système simple de distribution d'eau

Données pour le projet :

Nombre de personnes desservies	1750
Longueur totale des conduites	600 m.
Utilisation moyenne quotidienne d'eau	50 litres/jour/personne
Coefficient de pointe journalière (k_1)	1,2
Coefficient de pointe horaire (k_2)	1,5

Calculs

Débit moyen de l'eau transportée par le système de distribution :

$$Q_{\text{moy.}} = 1750 \times 50 = 875.000 \text{ litres/jour soit } 1,0 \text{ litre/seconde}$$

Débit de pointe transporté par le réseau :

$$Q_{\text{pointe}} = 1,2 \times 1,5 \times 1 = 1,8 \text{ litres/seconde}$$

Débit d'eau par mètre du système de distribution :

$$Q_{\text{unitaire}} = \frac{1,8}{600} = 0,003 \text{ litres/seconde/m}$$

En multipliant la longueur cumulée de canalisation pour chaque section individuelle, par le débit unitaire d'écoulement, on obtient le débit d'écoulement à partir duquel on peut calculer le diamètre de la conduite pour une vitesse choisie d'écoulement. Le débit maximal transporté par les conduites en plastique, pour une vitesse admise de 0,75 m/sec. est donné dans le tableau 19.1.

Tableau 19.1.

Débit maximal dans les tuyaux en plastique (pour $V = 0,75 \text{ m/sec.}$)

Diamètre		Débit Maximal	Perte de charge
mm	pouce (1)	l/sec.	m/m ¹
30	1 1/4	0,6	0,023
40	1 1/2	0,9	0,020
50	2	1,5	0,015
60	2 1/2	2,1	0,011
80	3	3,4	0,009
100	4	6,0	0,007
150	6	13,3	0,004

(1) approximatif

Les calculs sont présentés dans le tableau 19.2.

Tableau 19.2.
Essai de détermination des sections des conduites dans un réseau de distribution

Sections	Longueur (m)	Longueur cumulée (m)	Débit d'écoulement calculé (litre/sec)	Diamètre de la conduite (mm)
A-C	80	80	0,24	30
B-C	80	80	0,24	30
C-F	100	260	0,78	40
D-E	100	100	0,30	30
E-F	80	180	0,54	30
F-G	160	600	1,86	60

Vitesse supposée = 0,75 m/sec.

19.5 Nature des canalisations

Les canalisations habituellement utilisées dans les petits réseaux de distribution d'eau sont en fonte, en fibrociment, en chlorure de polyvinyle rigide (PVC) et polyéthylène flexible (PE). L'acier galvanisé est parfois choisi en raison de son élasticité pour les situations où on peut craindre des affaissements sous les conduites. Les facteurs influençant le choix du matériau sont : le coût et la disponibilité de différents types de conduites, la pression prévue dans le réseau de distribution, l'agressivité de l'eau et du sol dans lequel les conduites seront installées, et les conditions telles que la surcharge apportée par le trafic, la proximité des égouts et l'importance de la population.

Les conduites en fonte ont été et continuent d'être utilisées en dépit de leur important coût initial en raison de leur grande durée de vie et du fait qu'elles exigent très peu d'entretien. La fonte est résistante à la corrosion même pour des eaux quelque peu corrosives. Pour une plus grande protection, on peut appliquer un enduit. Les tuyaux en fibrociment sont très résistants à la corrosion, à la lumière et faciles à transporter. Ils sont très utilisés jusqu'à un diamètre de 300 mm, surtout pour les tuyaux secondaires et pour les installations à faible pression. Dans les sols contenant du sulfate, les conduites en fibrociment sont sujettes à corrosion. Les tuyaux en PVC sont intéressants par la facilité avec laquelle on réalise les joints et leur résistance à la corrosion est bonne. Ils peuvent être fabriqués en plusieurs classes de qualité selon la pression à laquelle ils seront soumis. L'acier galvanisé est parfois employé dans des cas où des pressions élevées sont atteintes dans le réseau, mais il n'est en général pas utilisé dans les réseaux de distribution.

Le tableau 19.3. permet de déterminer rapidement les diamètres et les classes de pression pour divers types de tuyaux

Tableau 19.3.
Éléments concernant le choix des conduites

Matériau	Classe Catégorie	Test de pression m d'eau	Pression de fonctionnement	Diamètres disponibles Fourchettes mm
Fonte (F)	A	120	60	50 - 900
	A	180	90	50 - 900
	B	240	120	50 - 900
Fibrociment (F.C)	5	50	25	80 - 300
	10	100	50	80 - 300
	15	150	75	80 - 300
Chlorure de polyvinyle (P.V.C.)	2.5 kg/cm ²	50	25	90 - 315
	4.0	80	40	50 - 315
	6.0	120	60	40 - 315
	10.0	200	100	16 - 125

Distribution de l'eau

Appleyard, J.R.

LEAST-COST DESIGN OF BRANCHED PIPE NETWORK SYSTEMS

Journal of Environmental Engineering Division

American Society of Civil Engineers, 1975 No. 101, EE4

Azevedo Netto, J.M.

LOW-COST DISTRIBUTION SYSTEMS

In : International Training Seminar on Community Water Supply
in Developing Countries (Amsterdam, 1976)

International Reference Centre for Community Water Supply

The Hague, 1977 (Bulletin No. 10, pp. 258-265)

Babbitt, H.E.; DoLand, J.J.; Cleasby, J.L.

WATER SUPPLY ENGINEERING

McGraw-Hill Book, New York, 1962 (6th edition), pp. 319-346

Bonnet, L.

TRAITE PRATIQUE DE DISTRIBUTION DES EAUX

Bordas-Dunod, Paris, 1952

Ginn, H.N.; Lorey, M.W.; Riddlebrooks, E.J.

DESIGN PARAMETERS FOR RURAL WATER DISTRIBUTION SYSTEMS

Journal Am. Water Works Assoc., New York, 1966

Gomella, C.; Guerrée, H.

LA DISTRIBUTION D'EAU DANS LES AGGLOMERATIONS URBAINES ET RURALES

Editions Eyrolles, Paris, 1970, 4ème partie, pp. 177-220

Lauria, D.T.; Kolsky, P.J.; Middleton, R.N.

DESIGN OF LOW-COST WATER DISTRIBUTION SYSTEMS

The World Bank (Energy, Water & Telecommunications Dpt.), 1977

(P.U. Report No. Res. 11)

McJunkin, F.E.; Pineo, C.S.

ROLE OF PLASTIC PIPE IN COMMUNITY WATER SUPPLIES IN DEVELOPING COUNTRIES

U.S. Agency for International Development, Washington D.C., 1969

Munizaga Diaz, E.

REDES DE AGUA POTABLE

Ediciones Universidad Catolica, Santiago, 1974

PUBLIC STANDPOST WATER SUPPLIES

International Reference Centre for Community Water Supply

The Hague, 1980 (Technical Paper No. 13)

Trelles, R.A.; et al

ABASTECIMIENTOS DE AGUA POTABLE A COMUNIDADES RURALES

Instituto de Ingenieria Sanitaria, Facultad de Ingenieria

Buenos Aires, 1971, pp. 255-304

Twort, A.C.; Hoather, R.C.; Law, F.M.

WATER SUPPLY (2nd Editions)

Edward Arnold (Publishers) Ltd., London, 1974

annexes

1. controle sanitaire**Définition**

Un contrôle sanitaire consiste en un examen sur le terrain et une évaluation par une personne qualifiée de toutes les conditions, moyens et pratiques qui comportent et peuvent comporter un danger pour la santé et le bien-être du consommateur lors de la mise en place d'une installation d'alimentation en eau. Les contrôles sanitaires peuvent, selon le but qu'ils poursuivent, inclure tout ou une partie du dispositif d'alimentation en eau pouvant influencer sur cet état sanitaire. L'importance de la surveillance sanitaire de la ressource en eau ne saurait être sous estimée.

Aucun examen bactériologique ou chimique, si soigné qu'il soit, ne peut remplacer une connaissance approfondie de la ressource en eau et du système de distribution. Chaque installation d'alimentation doit être inspectée régulièrement par des personnes expérimentées depuis la ressource jusqu'à la délivrance de l'eau. Les prises d'échantillons, spécialement pour des examens bactériologiques, doivent être effectuées à des intervalles réguliers et dans des conditions climatiques différentes, particulièrement après une pluie violente ou à la suite de réparations importantes ou de travaux de construction. Il faut souligner que, lorsqu'une inspection sanitaire montre qu'une eau, à la distribution, est sujette à pollution, il faut la condamner, ce indépendamment des résultats des analyses chimique ou bactériologique. La contamination est souvent intermittente et peut ne pas être révélée par un examen chimique ou bactériologique ou par un unique échantillon. Celui-ci ne fournit d'information que sur les conditions spécifiques au moment de la prise d'échantillon; un résultat satisfaisant ne peut garantir que les conditions trouvées persisteront par la suite.

Lorsqu'on établit une nouvelle alimentation, l'enquête sanitaire doit être coordonnée avec la collecte des données de base sur l'aptitude d'une ressource en eau donnée à satisfaire les demandes tant présentes que futures. Le relevé de l'état sanitaire doit comprendre la recherche de toutes les sources potentielles de pollution susceptibles d'affecter la ressource et l'évaluation de leur importance dans le présent et pour l'avenir. Dans le cas d'une alimentation existante, l'enquête sanitaire doit être effectuée aussi souvent qu'il est nécessaire pour contrôler les risques de pollution et le maintien de la qualité de l'eau.

Il est à noter que la responsabilité de l'autorité chargée de la surveillance va au-delà de la simple constatation que l'eau distribuée est ou non satisfaisante par rapport aux standards de qualité. Des conseils doivent être donnés sur les erreurs à éviter pour améliorer la qualité; cela implique une connaissance de l'installation d'alimentation en eau, incluant les processus de traitement, et un lien très étroit avec les personnes des laboratoires et les techniciens chargés de l'exploitation.

Quand effectue-t-on un contrôle de l'état sanitaire?

Ce contrôle est à effectuer :

- 1) Lorsqu'on recourt à de nouvelles ressources en eau : on doit alors disposer d'éléments d'information suffisants pour pouvoir déterminer, en premier lieu, si la ressource proposée convient bien et, en second lieu, le degré de traitement à imposer avant que l'eau brute ne puisse être considérée comme admissible pour la consommation humaine. Aucune nouvelle alimentation publique en eau ne doit être approuvée sans un relevé de l'état sanitaire par, ou approuvé par, une équipe ayant une responsabilité en matière de contrôle.
- 2) Lorsque des analyses de laboratoire sur un échantillon pris dans le dispositif d'alimentation en eau font craindre un risque pour la santé, un contrôle doit être entrepris pour identifier la (ou les) source(s) de contamination. On examinera tout d'abord les causes habituelles de contamination, par exemple une défaillance de la chloration.
- 3) Lorsqu'une maladie due à l'eau survient dans la zone, ou près de la zone, desservie par l'approvisionnement en eau.
- 4) Lorsqu'on interprète des analyses bactériologiques, chimiques et physiques d'échantillons d'eau.
- 5) Lorsqu'un changement important intervient qui peut affecter le dispositif d'alimentation, par exemple la construction d'une nouvelle industrie dans le bassin versant.

Les contrôles à exécuter se feront alors une seule fois ou à des intervalles irréguliers.

- 6) Les relevés de l'état sanitaire doivent également être entrepris sur une base régulière. Leur fréquence et leur distribution dépendront de la taille de l'installation, de l'équipe et des ressources disponibles. Les techniciens de la station de traitement doivent effectuer leurs propres relevés sanitaires à des intervalles réguliers et les noter sur un journal de bord. L'idéal pour une équipe de surveillance est de visiter chaque station au moins une fois par an.

L'eau provenant d'installations plus importantes intéresse davantage d'usagers bien que, souvent, des dispositifs plus petits comportent proportionnellement plus de risques. Néanmoins, les installations plus importantes doivent être inspectées plus fréquemment car le risque intéresse une population plus considérable et l'efficacité du contrôle est alors plus grande en comparaison de son coût. Les plus petites installations doivent également être sous surveillance, mais on doit faire preuve de réalisme quant à la fréquence des contrôles. Les zones ru-

rales présentent un problème spécial au regard des relevés de l'état sanitaire, principalement l'impossibilité physique et économique de surveiller d'innombrables petits systèmes d'alimentation en eau. Les efforts des autorités chargées de la surveillance doivent se focaliser en premier sur les encouragements et la stimulation des individus et des collectivités afin qu'ils prennent l'initiative des améliorations nécessaires; ils doivent ensuite porter sur la fourniture d'informations sur les techniques fiables, viser à fournir une assistance technique pour la sélection du site, la conception et la construction des ouvrages. On conseillera de fournir des démonstrations de pratiques correctes plutôt que de se contenter de condamner des agissements jugés mauvais.

Qualification du personnel de contrôle

La sûreté du jugement sur le plan professionnel et la compétence du personnel de contrôle sont les garants de la valeur des données et des informations recueillies. Les contrôles de routine sont généralement effectués par des inspecteurs sanitaires qui ne sont pas complètement formés aux disciplines concernant les installations d'alimentation en eau. De nombreuses observations montrent qu'un contrôle efficace peut être établi en recourant, sous une surveillance étroite et qualifiée, à des diplômés de l'enseignement secondaire ayant eu deux années de formation technique appuyée par une formation sur le terrain. Une assistance technique doit être à la disposition de ces inspecteurs, si cela est nécessaire. Des installations importantes et complexes doivent être contrôlées par une équipe plus qualifiée.

La pénurie de personnel qualifié ne doit pas être considérée comme une excuse pour ne rien faire, mais comme une incitation à établir des programmes appropriés de formation. Une assistance technique, éventuellement dans le cadre d'une société amicale, a été constituée dans de nombreuses organisations internationales ou dans d'autres institutions. La plupart des contrôles sanitaires de routine peuvent être effectués par les techniciens des stations au prix, éventuellement, d'une formation supplémentaire. Ces techniciens seront, à leurs débuts, accompagnés de leur chef, non seulement pour que leurs erreurs puissent être corrigées, mais aussi pour que leurs interventions puissent constituer une véritable session de formation. Outre l'explication du "pourquoi" des diverses activités de surveillance et des processus de traitement, le technicien devra enseigner, si cela est possible, les méthodes à appliquer pour la sélection des points du prélèvement, pour la prise des échantillons destinés aux analyses bactériennes ou chimiques, et la manière de mesurer le chlore résiduel.

Une exigence minimale absolue pour toute installation, quelle qu'en soit la taille, est de désigner un préposé responsable de son fonctionnement; ce préposé ou son remplaçant doit pouvoir être atteint à tout moment lors de l'exploitation d'une installation utilisant des eaux de surface et pratiquant la désinfection; pour les installations pratiquant la chloration, le technicien principal doit avoir sous la main les dispositifs ou les équipements de mesure du chlore résiduel; il doit être bien au courant de leur utilisation, et savoir pratiquer les

ajustements nécessaires pour obtenir un bon dosage du chlore.

La sécurité d'un système de distribution tant en situation normale que dans des conditions d'urgence repose sur une maintenance correcte et sur l'existence de dispositifs qui permettront de maintenir le fonctionnement correct des installations. A titre d'exemple, on citera la construction de deux ou plusieurs puits en supplément, pour les installations recourant aux eaux souterraines, des moteurs de remplacement, des réserves suffisantes dans des réservoirs surélevés et l'établissement sur le réseau d'un système de vannes permettant des mises hors service partielles pour les réparations.

Rapports et archivage

La préparation de modèles imprimés, de listes de points à contrôler et de formulaires permettant de guider les contrôles sanitaires a permis d'apporter une aide considérable à la fois au personnel chargé du contrôle et aux techniciens responsables de l'exploitation de l'eau. Ces documents sont souvent établis sur stencils et reproduits de façon peu onéreuse, dans la langue nationale. Ces publications constituent souvent des guides excellents. Outre leur valeur pédagogique et leur utilité en tant qu'aides mémoire, ces formulaires permettent de constituer des archives et, à ce titre, sont très importants pour des actions de suivi ou de renforcement des installations.

Les rapports doivent mentionner clairement et sans équivoque les recommandations faites, les actions à entreprendre et celles qui sont à éviter. Toute confusion entre action "suggérée" ou action "désirable" et une action à entreprendre impérativement doit être évitée.

Echantillonnage et contrôle

Objet

Les échantillons sont relevés dans les installations de distribution d'eau potable pour déterminer si l'eau d'alimentation convient pour la consommation humaine. Comme il est impossible d'analyser la totalité de l'eau distribuée, les échantillons doivent être représentatifs de l'ensemble des eaux utilisées. L'objectif de l'échantillonnage ne peut être atteint si l'échantillon est prélevé sans précaution ou à des emplacements qui ne sont pas représentatifs de l'installation. Un tel échantillon peut même être dangereux car il peut procurer une fausse sécurité.

Un échantillon unique n'a qu'une valeur limitée. Il est souhaitable de disposer d'une longue série de multiples échantillons.

Fréquence et nombre des prises d'échantillons

Le fréquence d'échantillonnage pour les alimentations publiques en eau repose traditionnellement sur un nombre minimal mensuel de prélèvements en fonction de la population des-

servie par une installation donnée d'approvisionnement en eau; cela conduit à des prélèvements pour analyse bactériologique d'autant moins nombreux que la distribution est moins étendue. Cependant, la fréquence d'échantillonnage devra également tenir compte de la fréquence des résultats non satisfaisants obtenus dans le passé, de la qualité de l'eau brute traitée, du nombre de sources d'eau brute, de la bonne adaptation et de la capacité des stations de traitement, des risques de contamination des diverses ressources, de la complexité et de la taille du réseau de distribution, des dangers d'épidémies, par exemple dans les ports internationaux ou les centres de pèlerinage, et de l'application de la chloration.

En considérant les choses de façon superficielle, la pratique de la chloration conduirait à réduire les prises d'échantillons. Cependant les études faites sur le terrain dans les pays en voie de développement montrent que la chloration n'est souvent pas pratiquée dans les petites installations d'alimentation établies à partir de ressources naturellement protégées telles que des puits profonds. La chloration est plutôt réalisée dans les installations d'alimentation en eau où l'on peut craindre une contamination de la ressource effective ou virtuelle. Tout défaut dans le système de chloration pourrait alors entraîner un risque sérieux pour la santé de la population desservie. Il conviendra donc de procéder à des vérifications constantes de la teneur en chlore résiduel et de la qualité bactérienne de l'eau afin de pouvoir intervenir immédiatement si une eau de qualité douteuse venait à être introduite dans le système de distribution.

En raison des nombreux paramètres dont il a été fait mention ci-dessus et de la gamme étendue des moyens de contrôle, on ne saurait fixer une fréquence d'échantillonnage applicable à tous les cas. En principe, on doit procéder chaque jour à un examen bactériologique d'une eau chlorée. Cela est réalisable dans les adductions importantes; mais dans de petits réseaux desservant une population ne dépassant pas 10.000 personnes, l'échantillonnage quotidien aux fins d'analyse bactériologique peut être impraticable; on doit alors se reposer sur des analyses bactériologiques hebdomadaires ou mensuelles. Dans les dispositifs les plus petits, on se reposera sur des contrôles sanitaires et, lorsque la chloration est pratiquée, sur une détermination fréquente de la concentration en chlore résiduel.

Un manuel de recommandations concernant le nombre et la fréquence des prélèvements a été publié par l'OMS dans le cadre des "Normes Internationales pour l'Eau Potable". Le nombre effectif et la fréquence des échantillonnages peuvent être décidés par l'équipe chargée de la surveillance qui devra prendre en compte les conditions locales. Les critères ou normes adaptés à l'usage local devront être clairement définis, et signifiés par écrit à l'équipe chargée du contrôle et aux responsables de l'exploitation. Ces critères et ces normes devront, avant tout, être adaptés aux types et à la taille des installations en service. Les études sur le terrain dans les pays en voie de développement montrent que l'on utilise très fréquemment "sur le papier", en matière de nombre et de fréquence des échantillonnages, les normes adoptées aux USA, en Grande-Bretagne et ailleurs. En fait, à l'exception de quelques capitales, ce que l'on cons-

tate sur le terrain est bien différent.

Où prélever les échantillons ?

Les échantillons ne doivent pas être prélevés toujours au même endroit mais, à tour de rôle, en différents points du système de distribution. Une habitude fréquente, qui peut donner des résultats trompeurs, est de prélever les échantillons aux mêmes points mois après mois, par exemple au robinet du laboratoire, à la mairie, au poste de police, ou dans l'appartement de l'un des employés du laboratoire.

La plupart des échantillons destinés à des analyses bactériologiques ou à des recherches de chlore résiduel doivent être prélevés dans des zones connues pour avoir des problèmes, par exemple des zones où on a eu de mauvais résultats dans le passé, des zones où la pression est basse, où l'on observe d'importantes fuites, où la population est dense et l'assainissement déficient, où les réservoirs de distribution ne sont pas couverts ou sont mal protégés, où les canalisations sont en cul de sac, dans les zones périphériques les plus éloignées des installations de traitement. Beaucoup de zones urbaines s'alimentent à plusieurs sources, souvent 3 ou 4, et parfois 20 et plus. La localisation des points de prélèvement dans le système de distribution doit permettre d'être assuré que l'eau de chaque source est échantillonnée périodiquement. Une fréquence plus grande doit être accordée aux eaux alimentant des populations très importantes, aux eaux de surface, à celles qui alimentent les systèmes de distribution les plus anciens, à celles qui ont posé dans le passé des problèmes de qualité.

On utilise souvent, dans beaucoup de villes importantes, des camions-citernes. Dans quelques villes, plus de la moitié de la population est alimentée de cette façon. Les postes d'eau où sont remplis les camions-citernes doivent être échantillonnés périodiquement et l'eau distribuée par ces citernes devrait être également échantillonnée de façon aléatoire sans en avvertir le conducteur.

Réalisation des prélèvements

Les préleveurs doivent connaître les procédures de prélèvement, à savoir :

- 1) La localisation du prélèvement comme il a été dit ci-dessus. Les non-professionnels doivent être spécialement instruits sur les emplacements à choisir pour la prise des échantillons.
- 2) L'utilisation de produits de déchloration tels que le thiosulphate de soude qu'on ajoute dans le flacon de prélèvement et les raisons de cette pratique.
- 3) Les mesures de TO, TAO ou de chlore résiduel. Ces tests doivent être exécutés immédiatement après le prélèvement.
- 4) Les procédures correctes de prélèvement pour être assuré que les échantillons

sont représentatifs et que, pour des analyses bactériologiques, le flacon de prélèvement a été maintenu stérile. Là où les échantillons sont habituellement contaminés du fait des préleveurs, il sera nécessaire d'adopter une attitude critique vis-à-vis des prélèvements reconnus contenir des coliformes.

- 5) Le transport et la conservation corrects des échantillons. Ils doivent parvenir au laboratoire dans les 30 heures. Ils n'ont pas besoin d'être conservés dans la glace mais doivent être maintenus à l'abri de la chaleur et de la lumière solaire.

Transport des échantillons

Dans de nombreux pays, les préleveurs d'échantillons n'ont souvent pas de véhicules personnels, et des dispositions spéciales doivent être prises pour le transport des échantillons. Le recours aux transports publics, spécialement les autobus et même les trains, les bateaux et les avions, a pu convenir dans quelques secteurs, mais il ne faut pas que le préleveur ait à payer de sa propre poche. Le transport des échantillons devrait être un facteur clé pour la localisation des laboratoires régionaux.

Coordination avec le laboratoire

La nécessité d'une coordination entre les préleveurs d'échantillons et le personnel des laboratoires est évidente; mais, on trouve malheureusement de nombreux exemples de prélèvements parvenant dans des gares routières et y restant des jours ou d'échantillons arrivant au laboratoire en fin de semaine alors qu'il est fermé, toutes pratiques qui conduisent à n'avoir plus qu'un échantillon périmé.

2. methodes de forage

Introduction

Les installations et les outils de sondage les plus modernes et les plus chers ne constituent pas nécessairement le meilleur équipement pour le forage d'un puits, quoi que puissent dire les prospectus des fabricants. Le forage des puits appartient à ce petit groupe d'activités de génie civil qui sont si influencées par les facteurs locaux et peut être par les éléments inconnus relatifs à la structure du sol, qu'il est bien rare qu'un site donné invite à mettre en oeuvre une méthode précise de forage et de construction de puits.

Un observateur inexpérimenté pourra penser qu'un vieil outil placé au bout d'un câble qui broie de la roche à longueur de journée en mettant en oeuvre des machines très peu perfectionnées est une technique rétrograde, mais ce peut très bien être cette simplicité même qui a guidé le choix de la méthode.

Il n'y a pas d'installation de sondage ou de système de forage idéal s'adaptant à toutes les situations. Si on examine les statistiques de forage pour l'Amérique du Nord, 750.000 puits pour l'alimentation en eau ont été installés par quelque 9.000 entrepreneurs en un an (1978) et on constate une préférence évidente pour le forage au rotary. On notera également que les communications aux USA et au Canada sont en général excellentes, ce qui permet un approvisionnement rapide en pièces détachées et la venue d'ingénieurs compétents; dans ces pays, les données hydrogéologiques sont la plupart du temps facilement disponibles; les coûts élevés de la main d'oeuvre et des conditions d'âpre concurrence conduisent d'autre part à réaliser les forages très rapidement. Dans les pays en voie de développement, les moyens financiers sont limités et on ne dispose pour le forage des puits dans les zones éloignées que d'une main d'oeuvre peu compétente, avec un support technique minimal; il faut alors porter attention à la complication technologique que l'on peut admettre. Cependant des conditions différentes prévalent en Europe de l'ouest, où on s'intéresse essentiellement à un relativement petit nombre de puits de grand diamètre équipés de pompes à gros débit fournissant de l'eau à un réseau de distribution très étendu.

Avant de décrire les différentes méthodes de forage des puits, il doit être souligné qu'il y a quelques variantes pour les noms donnés à certains outils dans les pays anglophones. Chaque fois que cela sera possible, on utilisera le terme le plus habituel avec indication éventuelle, entre parenthèses, d'une autre appellation. Certains entrepreneurs de forages se désignent sous le nom de "sondeurs", d'autres sous celui des "foreurs". Les termes "blindage", "tubage" ou "chemisage" d'un puits sont en eux-mêmes suffisamment explicites, mais il y a parfois certaines confusions pour les termes "puits" et "forages". De façon générale, ils se réfèrent à la même chose bien que les puristes puissent prétendre qu'un puits est creusé manuellement et qu'un forage est réalisé avec une machine.

Forage au câble (par percussion)

Le forage par percussion est une très ancienne technique; il était déjà utilisé il y a plus de 1000 ans en Chine. La méthode n'a pas changé dans son principe, mais les outils ont été très améliorés. Il est pratiqué à la fois pour le forage des petits et des grands trous, jusqu'à des profondeurs de 300 à 500 m. Le forage par percussion utilise un équipement relativement bon marché. Son plus grand inconvénient est sa lenteur. Cela limite son utilisation dans les pays en voie de développement, où souvent un grand nombre de puits doivent être forés aussi rapidement que possible.

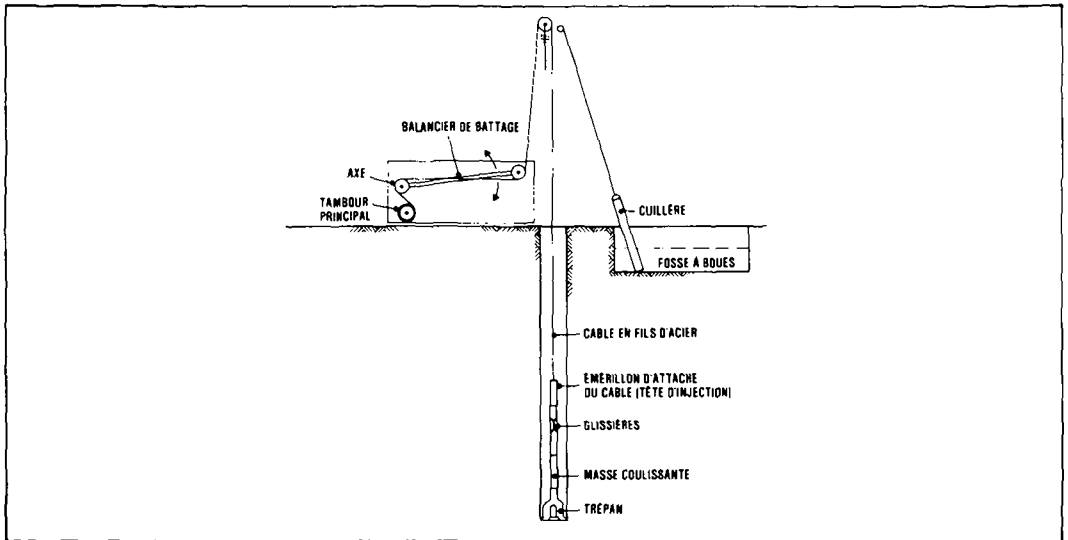


Figure 1.
Appareillage de forage par percussion

Dans le forage par percussion, on laisse tomber un outil lourd qui fait éclater les roches et se fraye peu à peu la voie dans la formation géologique. Un train d'outils est suspendu à un câble constitué de fils d'acier qui passe sur une poulie suspendue à la partie supérieure de la tour de battage et comportant un matelas amortisseur en caoutchouc. Il redescend sous la poulie de battage placée à l'extrémité d'un balancier. Il passe alors sur la poulie établie à l'emplacement de l'axe du balancier pour aller s'enrouler sur un tambour muni d'un frein dit tambour principal (figure 1.).

Une tringlerie transmet le mouvement d'un système bielle-manivelle à l'extrémité libre du balancier, provoquant le mouvement alternatif du câble et du train d'outils qui lui est suspendu. Ces outils comprennent le trépan surmonté d'une masse coulissante, éventuellement de glissières de forage, puis de l'émerillon d'attache du câble comportant un mandrin dans lequel est fixé le câble.

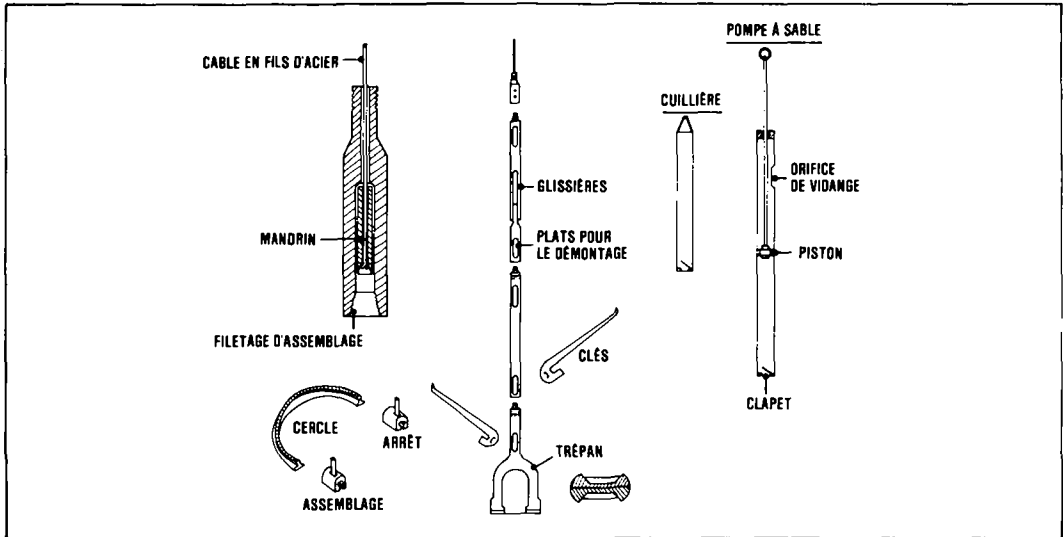


Figure 2.
Outils de percussion

Les trépan sont forgés dans un métal à haute teneur en carbone. Ils sont conçus pour pénétrer, broyer, mélanger et aléser.

Les trépan pour formations dures pénètrent sous un angle obtus; ils ont une importante section transversale pour leur donner de la force. Ils comportent sur le côté de petites rainures pour le passage de l'eau. Les trépan pour des formations d'argiles tendres ont une arête coupante, des angles largement dégagés et de grands passages pour l'eau avec une surface réduite pour permettre un va et vient rapide à travers une boue visqueuse.

A l'origine, presque toutes les installations de battage au câble étaient équipées d'une soufflerie pour fournir de l'air à une forge qui permettait de remettre en forme et d'aiguiser les trépan, mais actuellement la plupart des installations comportent des postes portatifs de soudure électrique grâce auxquels une charge d'une dureté moyenne peut être appliquée sur la face de travail de l'outil.

La masse coulissante est située au-dessus du trépan pour le charger et lui assurer une pénétration verticale. De plus, par l'effet de succion qu'elle exerce, elle entraîne les déblais vers le haut, loin du trépan.

Les glissières de forage sont au-dessus de la coulisse lorsqu'il existe un risque de chute de pierres qui pourraient bloquer les outils à l'intérieur du forage; elles sont là pour pouvoir ébranler les outils qui seraient immobilisés dans le forage. Elles ne contribuent en aucune façon à la réalisation proprement dite du forage; elles s'ajoutent plutôt à la liste

des éléments qui contribuent à introduire des points faibles et le foreur oublie souvent de les installer alors que la prudence devrait inciter à les prévoir. Ce sont, en fait, des liaisons coulissantes qui assurent un libre mouvement vertical de quelque 150 mm et ont un diamètre qui n'est qu'un peu supérieur à celui de la masse coulissante. On les actionne habituellement en pratiquant une forte traction continue sur le cable et les outils qui sont immobilisés. En même temps, on laisse tomber, le long du cable de forage, un poids coaxial (mouton de glissière). Il en résulte un coup sur la partie supérieure de l'émérillon du cable qui ferme momentanément les glissières; celles-ci reviennent brusquement et vivement à leur position initiale, en procurant une impulsion efficace vers le haut.

A la partie supérieure du train de forage se trouve l'émérillon d'attache du cable. Il a deux fonctions : réaliser la liaison du cable de forage aux outils et assurer à ceux-ci un mouvement de rotation continue. A l'intérieur du manchon se trouve un mandrin dans lequel est fixé le cable de forage. La partie supérieure du mandrin comporte une surface lisse en acier trempé située à l'intérieur du manchon qui supporte la charge de tout le train des outils.

Le train de forage est suspendu à un cable en fils d'acier non trempé, enroulés de droite à gauche. Lorsque le forage commence, le poids de l'outil étire le cable qui est mis en rotation dans le sens des aiguilles d'une montre et transmet la torsion par l'intermédiaire d'un système manchon/mandrin aux outils, contrariant toute tendance au dévissage des joints filetés à droite. Alors les outils se mettent à tourner lentement, modifiant la position du trépan à chaque coup et permettant de réaliser un trou circulaire.

Du fait de plusieurs facteurs tels que la viscosité des déblais, la raideur du train de forage, le poids des outils..., le train de forage peut résister au processus de rotation et retourner à sa position naturelle. Il le fait en résistant momentanément au frottement du mandrin contre le manchon. Cela se produit à chaque coup de battage ou, par les grandes profondeurs, tous les 60 coups ou plus.

Le train d'outils qui tourne lentement n'est naturellement pas affecté par ce soudain renversement du train, ce qui est perçu par le foreur qui a la main sur le cable.

Il y a maintenant un train d'outils pesant entre 300 et 4000 kg animé d'un mouvement vertical alternatif à la cadence de 40 à 80 coups par minute, la hauteur de chute étant comprise entre 1,20 et 0,40 m. et qui tourne doucement. à ce stade le foreur procède à deux ajustements essentiels pour la conduite du matériel : d'abord le nombre de coups par minute est réglé de façon que le train d'outils soit tout juste - et seulement tout juste - capable de suivre le mouvement alternatif qui lui est imprimé par le balancier sans provoquer un violent coup dans le train de forage. Ensuite, le train de forage est ajusté à partir du tambour jusqu'à ce que le trepan atteigne juste le fond du trou et y frappe un coup sec et net. Ce contact et le retrait rapide sont favorisés par le système élastique de la poulie fixée en haut de la tour de battage et, surtout en profondeur, par l'élasticité naturelle de l'ensemble du train de forage.

Ces deux ajustements sont absolument essentiels et ne laissent qu'une petite marge d'erreur. Un rythme de battage trop faible et le trepan ne progressera que lentement; un rythme trop rapide et l'installation sera sérieusement endommagée. Un train de forage trop lâche conduit à des difficultés en matière de verticalité et à une faible progression; avec une ligne trop tendue on aura un trou vertical, mais une faible progression et le manchon de l'émérillon pourra ne pas fonctionner, mettant fin à la rotation de l'ensemble.

Le puits est alimenté avec de petites quantités d'eau jusqu'au moment où on obtient un approvisionnement naturel. L'eau permet d'avoir de la boue grâce à laquelle on assure l'évacuation des déblais et leur mise en suspension au-dessus et en dehors de la face de travail du trepan. Elle assure de plus le refroidissement et la lubrification du train d'outils.

Lorsque les outils frappent correctement le fond du trou, la profondeur du forage augmente et les réglages qui viennent d'être indiqués se trouvent modifiés.

Le foreur ajuste alors, par un réglage dit secondaire ou fin, le freinage du tambour jusqu'à ce que celui-ci commence à patiner et diminue ainsi à chaque coup une partie de la ligne de forage.

L'installation est maintenant en exploitation et, à supposer qu'il n'y ait pas de modification des couches de terrain, continuera jusqu'à ce que le foreur pense, à proprement parler, que l'épaississement de la boue freine les outils. Il pourra alors ralentir la cadence pour rester en phase avec les outils pendant un certain temps ou procédera au nettoyage du trou, opération inévitable qui doit intervenir tôt ou tard.

On utilisera pour cela une cuillère (ou soupape) (figure 2.).

Les outils sont retirés du trou et la cuillère est descendue dans le forage sur une ligne spéciale dite "ligne de sable".

La cuillère est constituée par un tube d'acier fermé à la partie inférieure par une porte à charnière ou une soupape. La boue remplit la cuillère et est remontée en surface et déversée dans la fosse à boues (figure 1.). L'opération est répétée jusqu'à ce que le trou soit propre.

Si l'on fore dans de la roche dure, le foreur peut laisser un peu de boue dans le puits pour maintenir en suspension les débris de roches. Il peut même introduire un peu d'argile pour faciliter l'opération.

Une pompe à sable (figure 2.) ressemble à une cuillère mais comprend un piston à l'intérieur d'un tube cylindrique; la tige du piston est reliée à la ligne de sable. Descendu en position allongée, le tube finit par se poser sur le fond du trou. En descendant un peu plus, on provoque un déplacement du piston vers le bas, la soupape à disque qu'il porte s'étant ouverte.

Un retrait rapide vers le haut tire dans le tube le piston dont la soupape s'est fermée. Il s'ensuit une aspiration de la boue à travers le clapet de pied de la cuillère. Enfin, le piston atteint sa bague d'arrêt et l'ensemble de la pompe à sable est remonté à la surface.

Au début de l'opération de forage, un court tube de guidage est toujours enfoncé ou introduit à la main dans le sol. Il est indispensable pour stabiliser le terrain autour de l'aire de travail et doit être mis en place de façon rigoureusement verticale pour pouvoir commencer et maintenir le forage bien vertical.

Dans de la craie ou des grès consistants avec une petite couverture, on n'aura qu'à forer pour mettre en place un tubage permanent de quelque 15 m. qui constituera une protection contre la contamination possible des eaux de surface.

Le reste du puits sera foré sans tubage, ce qui ne posera pas de problème.

A l'opposé, on trouve des terrains ayant peu de tenue, avec intercalation de couches de roches dures. Dans de telles conditions, il est parfois nécessaire de commencer le forage avec un diamètre de 450 mm et d'intercaler plusieurs alignements de tubages temporaires intermédiaires pour en arriver à un forage terminé de 150 mm de diamètre. En tous cas, si l'ingénieur qui établit les plans pour le forage est prévoyant, notamment s'il suppose qu'on doive traverser des couches de galets, il doit choisir de commencer avec un diamètre largement supérieur, rien que pour pouvoir avoir un peu de marge en ce qui concerne la verticalité lorsqu'il en viendra à mettre en place le tubage définitif. L'espace annulaire étant plus grand, il faut utiliser davantage de ciment. Cet inconvénient est habituellement compensé par le fait qu'un plus grand diamètre permet de gagner un peu de liberté pour le passage dans les galets et la mise en place de tubages d'urgence.

Il y a deux ou trois décades, il était de pratique courante de forcer les tubages jusqu'à la profondeur requise s'ils devenaient trop serrés; effectivement, l'inventaire type des outils de forage par percussion comporte le matériel permettant de le faire.

Les tubes avaient des têtes et des sabots pour faciliter l'enfoncement. De puissants vérins étaient des outils habituels mais, comme la plupart des tubages étaient manchonnés, la récupération était souvent impossible et les puits, une fois terminés, incorporaient plusieurs colonnes de tubages inutiles.

L'utilisation de tubages temporaires avec joints à francs bords et la conscience prise de la nécessité de faire glisser les tubes a conduit à leur appliquer la persuasion plutôt que la force et leur récupération est plus souvent la règle que l'exception. En fait, la pratique de l'enfoncement des tubages est à éviter chaque fois que cela est possible et n'est à utiliser qu'en dernier ressort.

Forage au rotary par voie hydraulique

Circulation directe - Forage au rotary

Dans ce procédé, le forage est réalisé par un outil tournant abrasif et broyeur qui use et qui broie les formations rocheuses; les débris et les éléments meubles du sol sont évacués du forage grâce à la circulation continue d'un fluide. Le forage au rotary est particulièrement adapté aux terrains meubles et aux roches tendres. Des forages de grand diamètre peuvent être creusés jusqu'à des profondeurs considérables. La principale sujétion est la nécessité de disposer de quantités d'eau considérables, ce qui peut poser de sérieux problèmes, surtout dans les régions où l'eau est rare.

Le fluide, en général à base d'argile, est préparé dans une fosse à boues ou dans un réservoir et distribué par une pompe à haute pression, par l'intermédiaire d'une canalisation souple, à la partie supérieure d'une colonne d'outils en rotation appelée train de forage. Il s'écoule alors à travers les outils jusqu'au fond du puits et retourne à la surface pour se déverser dans la fosse à boues.

À la partie inférieure du train d'outils se trouve l'outil de forage qui est soit du type à molette ou plus rarement du type à lames. Dans le type à molettes (Rockbits), trois ou quatre molettes dentées en acier dur peuvent tourner librement autour des axes qui les supportent. Le corps de l'outil comporte des canaux pour le fluide qui refroidit et lubrifie les molettes, nettoie les dents et évacue les déblais.

L'outil est appliqué sur le fond du trou et tourne à des vitesses de 3 à 30 tours à la minute en fonction du diamètre du forage et de la nature des couches géologiques. Un poids est appliqué (250 à 2750. kg par 25 mm de diamètre).

Dans des roches dures, le contact avec les lignes de dents entraîne leur rupture du fait de la surcharge occasionnée. Dans les formations plus tendres, les molettes sont légèrement obliques pour ajouter une action de torsion. Dans les roches tendres les dents sont conçues pour déchirer.

Les outils du type à lames ne portent pas de molettes. Ils comportent trois ou quatre lames à faces dures et coupent les couches géologiques à la façon d'une gouge à bois. Ils forment rapidement dans les terrains très tendres mais ont tendance à faire subir des efforts aux tiges de forage et à serrer exagérément l'assemblage de l'outil, s'ils sont utilisés dans des couches dures, où du broutage peut intervenir.

Les contraintes relatives à la verticalité et à la rigidité mentionnées pour le forage par percussion s'appliquent aussi au rotary mais ce dernier souffre d'un inconvénient, à savoir qu'un poids doit être placé de façon continue sur l'outil et que la gravité a donc moins d'effet sur le train d'outils. Cependant on peut généralement réaliser un trou bien rectiligne du fait de l'influence stabilisatrice des masses tiges.

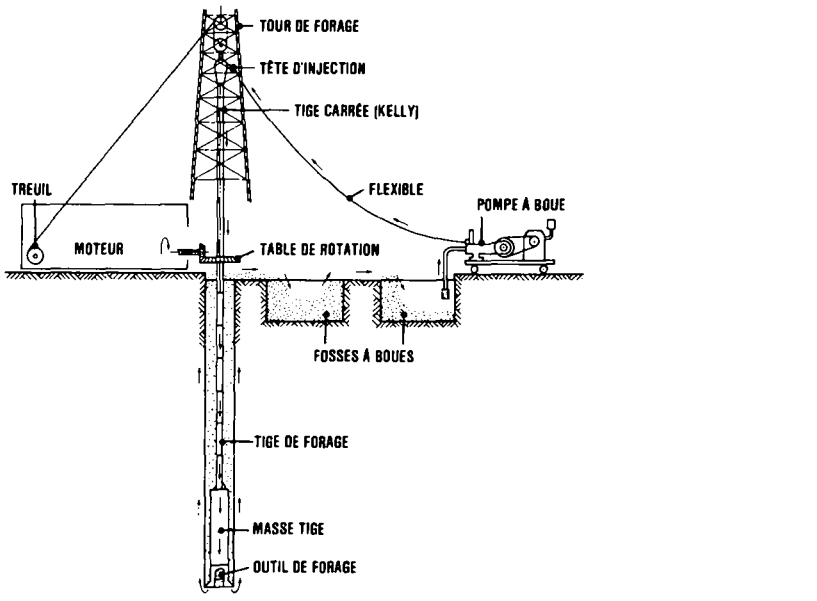


Figure 3.
 Orage au rotary avec circulation directe normale

Les masses tiges (figure 3.) sont des éléments de canalisation très lourds disposés au-dessus de l'outil de forage pour apporter la charge nécessaire et aider à la rectitude du orage. En plus, comme elles ont un diamètre important par rapport à celui du puits, il en résulte un espace annulaire réduit qui provoque un accroissement de la vitesse des fluides, et donc une évacuation rapide des débris qui sont écartés de l'outil de forage.

Dans les conditions les plus favorables, la plus grande partie de la longueur du train d'outils devra être en tension depuis la table de rotation du dispositif de forage, mais cela n'est pas toujours possible et le poids est parfois complété grâce à un mécanisme hydraulique ou à chaîne connu sous le nom de "pull down".

La principale longueur du train d'outils est formée par les tiges de forage qui sont ajoutées au fur et à mesure que la profondeur augmente. Elles vont de la partie haute des masses tiges jusqu'à la surface. Elles sont habituellement par longueurs de 3 à 10 m avec des diamètres en fonction des conditions du forage; la section libre à travers les tiges et les joints doit n'entraîner qu'une perte de charge aussi faible que possible pour la descente du fluide et la tige de forage doit avoir un diamètre suffisant pour procurer au fluide remontant la vitesse qui dépend de la puissance de la pompe à boues en service.

L'élément supérieur du train de tiges est une pièce spéciale dite "tige carrée" ou Kelly. Elle doit transmettre le mouvement de rotation à partir de la table de rotation. Pour

cela, elle a une section, carrée, hexagonale ou ronde, avec des cannelures, des rainures ou autres éléments permettant de la fixer dans l'ouverture correspondante de la table de rotation. Cela procure une certaine liberté de mouvement vertical et la tige carrée peut alors descendre dans le trou à mesure que le forage se poursuit ou être relevée .

L'émérillon d'attache (tête d'injection) est placé au sommet de la tige carrée. Il contient un assemblage qui supporte l'ensemble du poids du train d'outils. Il comporte aussi une entrée pour le fluide de forage qui, venant de la pompe à boue, passe à travers la tuyauterie souple et un dispositif d'injection permettant d'assurer le passage du fluide depuis le manchon qui demeure immobile jusqu'à la tige carrée en rotation.

Au cours du forage, les déblais sont amenés en surface et la tige carrée descend à travers la table de rotation jusqu'à ce que la tête d'injection atteigne la table. La rotation étant ralentie et l'arrivée du fluide supprimée, ce dernier continue cependant de circuler pendant un temps court et emporte vers le haut les déblais les plus récents en les éloignant de l'outil du forage et des masses tiges.

La pompe est alors arrêtée, la tige carrée remontée et dévissée du train de tiges, celui-ci étant suspendu dans les crans de la table de rotation.

On ajoute une autre tige que l'on abaisse avec l'ensemble du train de tiges jusqu'elle soit au niveau de la table. La tige carrée est alors fixée et la circulation rétablie. La rotation est mise en marche et finalement l'outil est appliqué une fois de plus sur le fond du trou.

Cette procédure est répétée jusqu'à ce qu'on atteigne la profondeur finale ou qu'on relève l'ensemble pour changer l'outil de forage.

Forage au rotary - Circulation inversée

Cette méthode diffère de celle, plus habituelle, de la circulation directe du fait que le fluide de forage circule en sens inverse. En gros, l'équipement est semblable pour son agencement mais beaucoup plus largement conçu. Par exemple les passages à travers les outils, les tiges de forage, la tête d'injection et la tige carrée ont rarement moins de 150 mm de diamètre (figure 4.).

Le diamètre minimal pratique du forage est de l'ordre de 400 mm, mais on connaît des réalisations avec des diamètres supérieurs à 1,8 m.

Des outils à molettes conventionnels, avec des diamètres de cette taille, ne seraient pas utilisables et il est donc habituel de prévoir un outil composé du type à lames. Cet outil comporte un plateau très robuste sous lequel sont fixées un certain nombre de lames dentées disposées de façon à couvrir la totalité de la section du puits. Le plateau comporte de courts passages qui débouchent dans un orifice commun à la collerette d'assemblage. Les déblais arrachés au cours du forage sont aspirés à travers le centre de l'outil et rapidement évacués en surface.

Une tige à bride d'un diamètre égal à celui de l'outil est verrouillée au-dessus de ce dernier. Elle comporte un tube central ayant le même diamètre que les tiges de forage. Des ouvertures à l'extrémité du tube extérieur permettent à l'eau claire qui descend de passer sans obstacle. Cet assemblage est dit stabilisateur et limite les mouvements latéraux des outils.

L'outil composé a besoin d'un lest pour pouvoir pénétrer. Pour cela on incorpore, comme pour les autres méthodes, des masses-tiges dans le train des outils. Elles peuvent être d'un diamètre beaucoup plus petit que celui du forage. Dans certaines circonstances, on peut inverser l'ordre des masses tiges et des stabilisateurs. Les outils décrit ci-dessus conviennent pour des terrains non consolidés, de l'argile tendre et de la roche tendre. Pour de l'argile dure il faudrait un outil rabot.

Les tiges de forage pour la circulation inverse doivent avoir des joints qui n'apportent aucun obstacle à la circulation et donc doivent être normalement du type à bride. Elles sont aussi relativement courtes pour pouvoir utiliser une courte tige carrée de manière à éviter une trop grande hauteur d'aspiration au-dessus du sol.

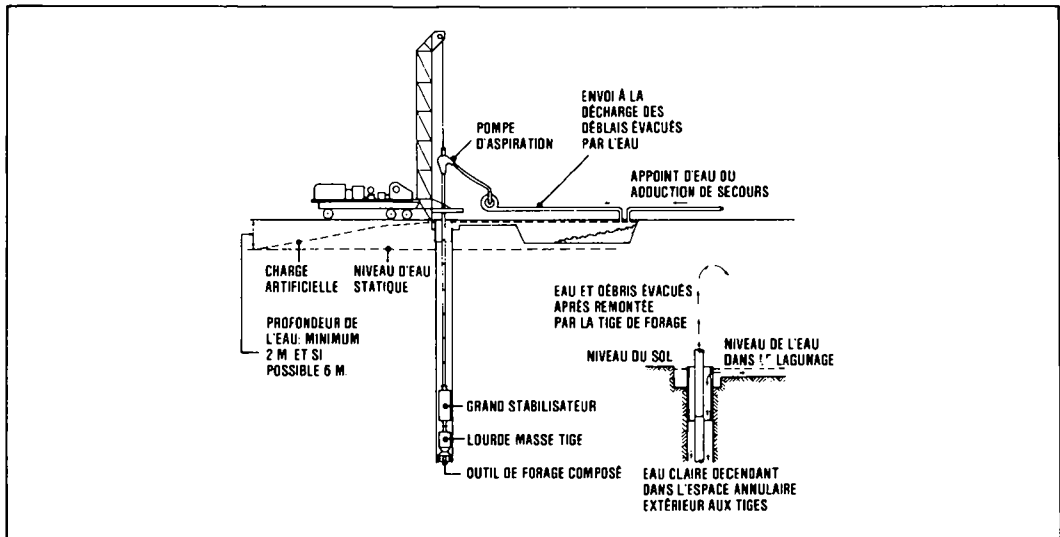


Figure 4.
Forage au rotary à circulation inversée

La pompe d'aspiration située en tête de la tuyauterie souple et placée en haut de la tige carrée est habituellement du type centrifuge à aubes; elle évacue l'ensemble du flot et des débris avec, par exemple, un débit de $4,5 \text{ m}^3/\text{min}$. à travers un dispositif de 150 mm de diamètre où on engendrait une vitesse d'environ 213 m/minute en entraînant des débris de 140 mm ou davantage; la pompe a eu une vie courte. Il est maintenant courant de coupler la pompe centrifuge avec un venturi qui exerce une aspiration dans un circuit séparé de celui de la pompe.

Quelques installations font appel à de l'air comprimé pour produire, à partir du sol, l'effet de vide nécessaire au fonctionnement du dispositif.

L'eau et les déblais sont envoyés dans un grand lagunage temporaire dont les dimensions sont déterminées de la manière empirique suivante : le volume ne doit pas être inférieur à trois fois le volume du forage en cours. Un puits de 750 mm foré à 60 m. exige alors un lagunage de 12 m. de long, 8 m. de large et un mètre de profondeur, avec une surface supplémentaire pour les déblais.

Ce lagunage ne constitue que l'un des facteurs à prendre en compte lorsque l'on choisit le système de forage à adopter. Ce point sera discuté dans la section suivante.

Le lagunage est souvent cloisonné pour favoriser le dépôt des déblais dans une partie bien à l'écart de la rigole qui renvoie l'eau décantée vers le forage.

On n'utilise que rarement de la boue parce que l'un des avantages du forage avec circulation inversée est que l'on ne met l'aquifère qu'au contact d'une eau relativement claire et qu'il n'y a donc pas intrusion de boue dans la formation. En Europe, on n'utilise plus guère que la rotation à circulation inversée pour le forage de puits de grande capacité destinés au pompage de l'eau potable.

Si le forage doit, dans sa partie haute, s'attaquer à des argiles, il convient de nettoyer la lagune et de la remplir avec de l'eau claire avant envoi dans l'aquifère.

L'avantage principal de la méthode est l'importante vitesse de forage pour de grands diamètres, spécialement dans des formations de graviers et de sables non consolidés. Les puits sont parfois forés et chemisés en 24 heures car aucun nettoyage n'est nécessaire, (la mise en valeur constitue une phase différente). En fait, la rapidité d'exécution est essentielle dans les formations non consolidées car le foreur ne peut compter que sur un espace découvert de 1 ou 2 m. en tête du forage. Le forage doit être conduit rapidement pour prévenir des effondrements dans le trou et la perte d'outils.

La charge d'eau claire à laquelle est soumis un sol non consolidé implique certaines pertes d'eau. Dans ces conditions, l'une des sujétions du forage avec circulation inversée est de disposer facilement d'une quantité d'eau importante et proche pour les besoins d'appoint. On les estime souvent à $45 \text{ m}^3/\text{h}$. avec une fourchette pratique de 9 à $70 \text{ m}^3/\text{h}$.

Alors que le système à circulation inversée utilise l'aspiration comme élément moteur à l'aval du circuit, il est des circonstances dans lesquelles, du fait des frottements dans les canalisations à grande profondeur ou d'une nappe profonde, la force d'aspiration est insuffisante. Pour cette raison, la plupart des installations de forage ont la possibilité de mettre en service un système de relèvement à air comprimé.

Cela se fait en incorporant une alimentation en air dans les tiges de forage soit concentriquement, soit jumelée à l'extérieur avec un ajutage conçu pour assurer l'envoi du

mélange d'air et d'eau dans la tige de de forage au niveau convenable..

Dans les meilleures conditions possibles, on a relevé des avancements de 0,6 m. par minute; une moyenne de 12 m/heure est tout à fait courante. On doit noter que les joints à bride avec verrouillage, qui sont le plus habituellement utilisés, impliquent des manoeuvres qui prennent du temps et qu'il y a là matière pour du progrès technique.

Les vitesses de rotation sont dans une fourchette de 8 à 50 tours par minute; les profondeurs moyennes sont de 120 m. On va parfois jusqu'à 300 m.

Méthodes diverses de forage

Désagrégation par tubage

Lorsqu'il faut creuser des puits relativement peu profonds, avec de grands diamètres, dans des graviers peu cohérents, des sables, des galets ou des formations analogues, on peut penser à la mise en oeuvre d'une installation de désagrégation par tubage hydraulique comportant aussi une tour de forage ou une grue.

Dans cette méthode, un tube de guidage court est enfoncé à la main dans le sol. Ce sera le premier d'une colonne de tubes destinés à rester à demeure, qui seront descendus avec lui. L'extrémité de la colonne est taillée en dents de scie et les tubes sont perforés, percés, entaillés en tant que de besoin.

Un dispositif agissant sous pression hydraulique, s'appuyant sur deux cylindres verticaux est placé sur le tube, un peu au-dessus du sol. Deux longs leviers horizontaux sont fixés sur deux oreilles opposées du dispositif et permettent d'imprimer un couple de torsion très lent mais puissant à la colonne des tubes. En même temps les deux cylindres verticaux assurent l'enfoncement de la colonne, grâce, si nécessaire, à une poussée vers le bas.

Sous l'effet de cette action, les tubes descendent et la boue pénètre à l'intérieur. Elle est retirée par une cuillère jusqu'à ce que la partie supérieure du premier tube soit proche de la table d'entraînement. On dispose alors au-dessus le tube suivant et le joint est soudé. Le principe essentiel de la méthode repose sur le maintien de la fluidité des formations autour de la zone de contact des tubes; c'est pourquoi il est tout à fait courant de réaliser la soudure de jonction sans arrêter le mouvement.

Des tubes de 450 mm à 1,20 m. peuvent être descendus jusqu'à des profondeurs de l'ordre de 30 m. dans de bonnes conditions, l'intérêt de la méthode étant qu'il n'y a pas besoin de tubages temporaires (comme dans le forage par percussion) ni de grandes lagunes (comme dans le forage au rotary). Il n'y a aussi pas de contamination de l'aquifère par des fluides de forage.

Forage à la mèche

De grandes mèches de forage ont fait leur apparition pour la première fois, il y a 75 ans. On utilisait des chevaux pour les actionner. On cite des ouvrages forés par cette méthode qui ont atteint 100 à 110 m. de profondeur. On enfonçait alors les mèches jusqu'à atteindre une formation creuse, après quoi un talon de fer ou d'acier surmonté de maçonnerie était mis en oeuvre pour faire place à une masse accrue de maçonnerie au niveau du sol.

La méthode peut présenter de l'intérêt dans les cas où l'on doit réaliser un certain nombre de forages dans des terrains comportant une couverture d'argiles consistantes surmontant une formation relevant davantage des techniques habituelles. Dans ce cas, une mèche peut réaliser un trou en 15 minutes qui, avec une installation normale, pourrait demander jusqu'à un jour et demi.

Le principe de l'opération consiste à faire pénétrer dans le sol une mèche à auget fixée à l'extrémité d'une longue tige (Kelly). La mèche à auget est retirée fréquemment pour être vidée. Sauf cas exceptionnel, mentionné ci-dessus, les profondeurs étaient limitées dans le passé par la nécessité d'avoir une "Kelly" dont la longueur permette le transport mais, lorsqu'on a introduit des "Kelly" télescopiques, on a pu forer par cette méthode à des profondeurs de 25 à 30 m. Un autre perfectionnement a été l'utilisation de tiges pleines, comportant sur toute leur longueur une rainure permettant la remontée des déblais. Ces dispositifs de percement à évacuation continue transportent les déblais jusqu'à la surface et il n'est plus nécessaire de remonter la mèche à auget.

Il existe des installations pour une fourchette de diamètres de 200 mm à 3 m. Aux Etats-Unis, on utilise volontiers des mèches de grandes tailles dans les régions où des combinaisons de sols cohérents tendres et de petits aquifères permettent de construire bon marché des puits de grands diamètres.

Les installations de forage dont on parle ici sont la plupart du temps actionnées par des machines, mais on doit se souvenir que le procédé a été appliqué avec succès en faisant appel à la seule force humaine pour des diamètres inférieurs à 20 mm. Cela suppose un terrain convenable et un toit de la nappe élevé. On a construit des centaines de puits de ce type.

Forage au "scow"

Le "scow" est un outil utilisé dans le forage au câble combinant le bord coupant d'un ciseau avec la capacité de rétention d'une cuillère. Il comporte un tube à parois épaisses dont le fond comporte un biseau femelle trempé; il peut aussi porter une traverse biseautée.

Dans le tube, à quelques centimètres du fond, se trouvent deux battants à charnières ouvrant de bas en haut. A la partie supérieure du tube qui est ouvert, un assemblage permet la liaison au train de forage.

Au cours du fonctionnement, l'outil est mis en mouvement dans le trou et on lui applique le mouvement habituel de va et vient. On ajoute de l'eau s'il n'y en a pas naturellement. Des éléments de sol sont enlevés par les bords coupants et pénètrent dans l'outil par l'effet de pompage qui résulte de l'action des battants.

On choisit un outil d'une taille telle qu'il remplisse presque la section des tubages temporaires en service, ce qui facilite la capture des gros éléments et renforce l'effet de pompage. Le scow est relevé périodiquement pour être vidé.

Les "scows" sont utilisés dans les formations sans cohésion, dans des couches de terrains difficiles dans lesquelles on peut trouver des gros cailloux et des graviers; ils ont l'intérêt de pouvoir déloger et remonter les matériaux plutôt que de dépenser du temps et de l'énergie à les broyer, comme ce serait le cas avec un outil habituel.

Un effet secondaire est l'effet de choc du coup de bélier provoqué par le rapide claquement des battants. Il en résulte une pulsation vibratoire dans l'ensemble de la colonne des tiges qui les fait progresser vers le bas dans le terrain non consolidé.

Un inconvénient est que le dispositif de forage et le câble doivent être en bon état pour résister aux gros efforts résultant de la mise en oeuvre du procédé.

Circulation d'air directe

Les exploitations de carrières et les industries minières utilisaient l'air dans les opérations de forage pour résoudre les problèmes posés en période de gel par les dispositifs d'évacuation utilisant l'eau. Cela marchait bien et, dans des conditions favorables, on en retirait des avantages supplémentaires tels qu'une plus longue vie de l'outil de forage, une pénétration et une remontée en surface plus rapide des déblais. D'autres points seront examinés plus loin dans la section consacrée aux boues de forage.

L'équipement est en gros analogue à celui qui est utilisé pour le forage à la boue, avec cependant quelques différences dans les détails, notamment dans la conception de l'outil de forage; les passages sont modifiés pour fournir de l'air aux éléments porteurs.

L'ensemble de la tête d'injection fonctionnant avec de l'eau dans les forages à circulation de boue doit pouvoir tourner à sec. Evidemment, il faut disposer d'un compresseur de puissance importante. Quelques installations de forage pétrolier utilisent du gaz au lieu d'air comprimé pour entraîner les déblais.

Circulation d'air inversée

L'une des difficultés à laquelle on se heurte dans le forage à l'air est la nécessité d'obtenir pour l'air une vitesse de remontée qui ne soit pas inférieure à 925 m par minute (figure 5.).

Pour y arriver, dans un forage de 375 mm par exemple, en utilisant la tige standard de forage de 112 mm, il faudrait disposer de quelque 100 m³ d'air par minute, ce qui est impraticable.

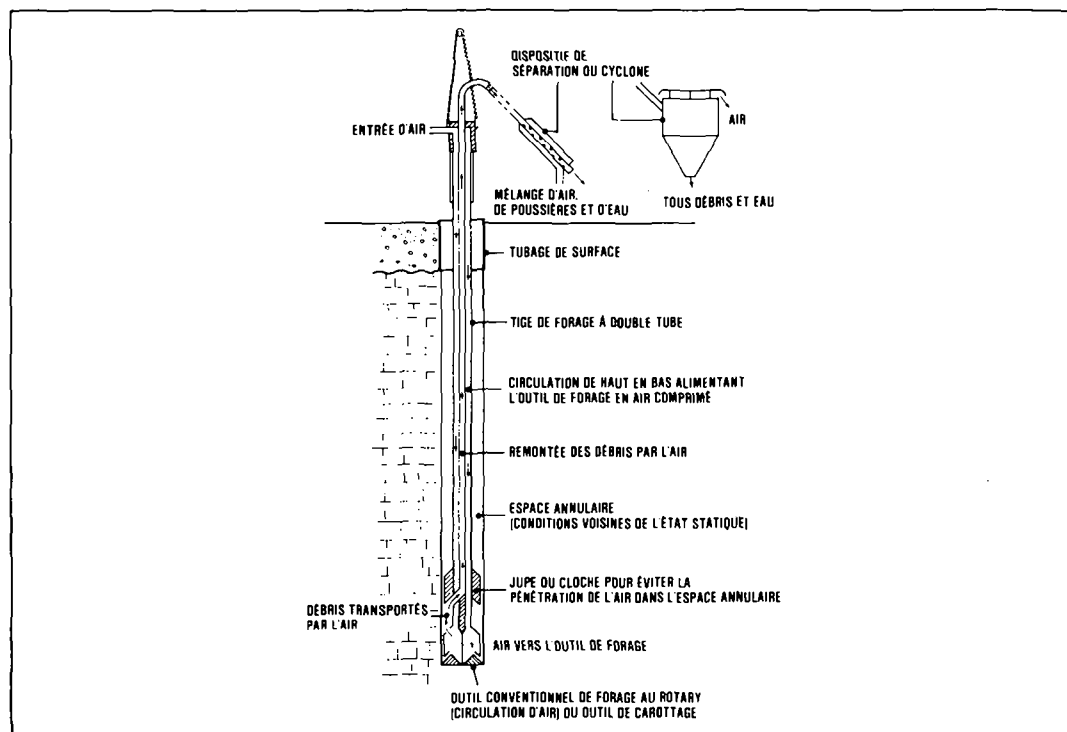


Figure 5.
Forage à circulation d'air inversée

Pour essayer de résoudre le problème, on a conçu un procédé de forage utilisant deux tubes concentriques. L'air est introduit dans l'espace annulaire existant entre les tubes intérieur et extérieur et diffusé autour de l'outil spécial.

Une cloche ou une jupe évitent un passage intempestif de l'air dans l'espace annulaire hors des outils de forage en rotation et l'air est ainsi contraint de passer à travers l'outil de forage et de remonter à travers les passages qui y sont ménagés. De là, il passe à grande vitesse dans le tuyau intérieur de forage et atteint la surface en entraînant les déblais.

Une variante intéressante a été l'application du système du double tube aux travaux de carottage de petit diamètre.

De l'eau est envoyée sous pression vers le bas dans la partie annulaire, traverse la couronne de carottage et parvient dans la tige de forage intérieure. Il n'y a pas de cylindre de carottage en tant que tel; à la place, un dispositif spécial de prélèvement de carottes rend possible le transport par l'eau qui remonte de courts éléments de carottage avec les fines particules de débris.

Ce dispositif évite d'avoir à enlever le cylindre de carottage classique pour le vider et permet de réaliser un forage ininterrompu. Ici aussi le dispositif ne peut être appliqué que dans des conditions de forage favorables.

Forage au marteau fond de trou

L'introduction du marteau fond de trou a fait faire un grand pas aux matériels adaptés aux roches dures pour lesquelles la méthode convient tout particulièrement. Le principal avantage du procédé est sa rapidité. Il ne faut habituellement que un ou deux jours pour réaliser un forage de 100 mètres dans du granite ou dans des gneiss. Autre avantage, la grande légèreté de l'équipement comparé à celui qui est nécessaire pour un forage par battage ou au rotary. Aucune eau n'est nécessaire pour le nettoyage du forage, ce qui rend la méthode spécialement bien adaptée aux régions dans lesquelles l'eau est rare.

Un marteau à air comprimé fonctionnant sur le même principe que le marteau piqueur utilisé en travaux de voirie est disposé à la base d'un train de tiges de forage. Le marteau porte une couronne de carbure de tungstène.

L'ensemble est animé d'un mouvement de rotation (20 à 50 tours par minute) et descendu jusqu'à la roche dure. La rotation a pour objet essentiel de changer la position de l'outil au fond du trou, l'apport à la réalisation proprement dite de l'opération de forage n'étant que secondaire.

Le piston, avant que l'outil ne touche le fond du trou, est au repos dans son cylindre et la presque totalité de l'air est évacuée à travers l'outil et, lorsqu'elles existent, les autres parties du train d'outils. Il en est ainsi parce que la pièce portant l'outil est suspendue et libre de pendre, éloignée de l'outil dans une position telle qu'elle ne peut être frappée par le piston.

Cette disposition permet de faciliter le nettoyage lorsque l'on progresse dans le trou et d'évacuer les accumulations excessives de débris.

Lorsque l'outil repose sur le fond du trou, l'assemblage suspendu est poussé à l'intérieur du corps de l'outil et vient au contact du piston oscillant qui peut maintenant frapper à une cadence d'environ 500 à 1000 coups par minute. En même temps, l'air qui a été précédemment évacué est envoyé pour agir sur le piston; il ne peut sortir que par les orifices existant dans l'outil lorsqu'il a cédé la plus grande partie de son énergie.

L'air évacué refroidit l'outil, nettoie les déblais et les entraîne vers le haut par l'espace annulaire jusqu'à une boîte de collecte établie à la surface.

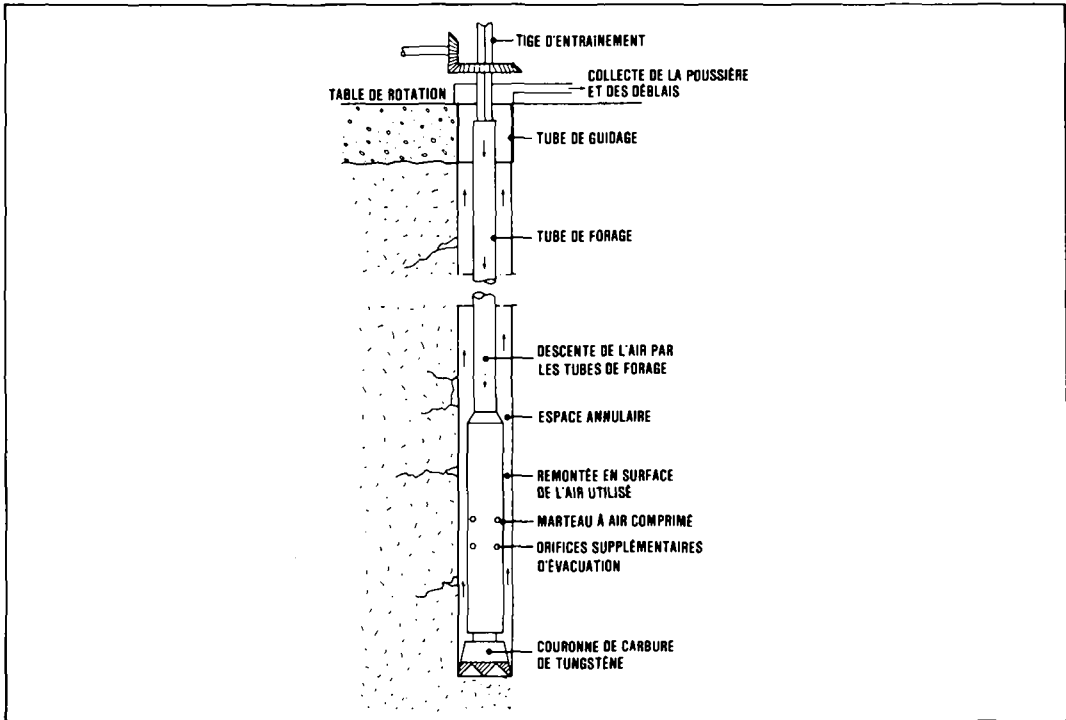


Figure 6.
Forage au marteau fond de trou

On utilise déjà couramment des marteaux de 50 à 375 mm de diamètre; des outils allant jusqu'à 750 mm ont été récemment mis en service. La remontée des poussières et des débris pose des problèmes avec de grands espaces annulaires. Ces problèmes peuvent être en partie réglés en disposant immédiatement au-dessus de l'outil un tube de collecte ouvert à la partie supérieure. Ce tube est périodiquement relevé et vidé. On peut aussi envisager un dispositif comportant une cloche avec circulation d'air inversée.

Le marteau fond de trou a considérablement accru les vitesses de pénétration à travers les roches dures. En 1960 le modèle alors disponible pouvait forer à raison de 3 mètres par heure dans du basalte très dur, ce qui est à comparer à la progression de un mètre en 10 heures par battage, cela pour un diamètre nominal de 150 mm.

Comme pour toute méthode spécialisée de forage, il y a des inconvénients et des problèmes. Le marteau ne peut travailler dans des terrains non consolidés ou dans des argiles. Il

ne peut pas non plus opérer dans l'eau. Des venues d'eau pourront agglomérer les déblais et les ficher dans les parois. On peut cependant y remédier en injectant des détergents dans l'air insufflé. Un fort débit d'eau sera cependant évacué comme dans le pompage par éjecteur à air jusqu'à ce que l'on atteigne une profondeur au-dessous de l'eau telle que la force développée par l'air soit dissipée en pompage. Alors, le marteau se trouve étouffé.

Des outils travaillant à forte pression ont été conçus pour régler, en partie, le dernier problème. Des tubes de forages couplés et une circulation d'air inversée peuvent aussi être de quelque secours, mais il n'y a que très peu d'entreprise à posséder de telles tiges de forage.

Boues de forage

Le premier fluide connu utilisé en forage a été l'eau qui était envoyée par des tiges creuses sur les outils de forage par percussion pour évacuer les déblais sans avoir à remonter les outils, cette dernière opération prenant beaucoup de temps.

On ajoutait parfois de l'argile pour accroître la viscosité afin de faciliter la remontée des débris de roches et des graviers.

Un des principes de base du forage au rotary est le recours à la circulation d'un fluide qui, pendant quelque cinquante ans, a été une boue à base d'argile ou de bentonite.

Argile ou bentonite

Une boue constituée d'argile naturelle ou de bentonite est ce qu'on utilise actuellement de la façon la plus courante pour les forages pétroliers ou les exhaures d'eau. On cherche alors :

- 1) A retirer des parois du forage les éléments qui ont été découpés et à les remonter en surface.
- 2) A lubrifier et refroidir l'ensemble du train de forage.
- 3) A maintenir en suspension les débris lorsqu'on ajoute des tiges de forages supplémentaires.
- 4) A permettre le dépôt des débris fins au fond des fosses à boues.
- 5) A établir sur les parois du forage un revêtement qui consolide l'ouvrage en cours d'exécution et réduise la perte de fluide dans les formations géologiques.
- 6) A lutter contre les sous pressions (écoulement artésien).
- 7) A soulager quelque peu le poids du train d'outils et du tubage dans les forages profonds.

Si l'on considère la liste ci-dessus de manière un peu plus détaillée, le nettoyage des parois du forage est essentiel pour assurer la plus longue vie possible à l'outil de forage

et l'efficacité maximale à l'opération. Cela fait, la boue doit remonter en surface à une vitesse suffisante dépendant de la vitesse de creusement, du diamètre du forage et de la taille des tiges de forage. Les débris, cependant, ne remonteront pas à cette vitesse car ils ont tendance à descendre du fait de leur poids. La vitesse de chute des débris ne doit cependant jamais être supérieure à la vitesse de la boue dans l'espace annulaire, afin d'assurer leur remontée en surface.

S'il y a eu dans une section un effondrement partiel du forage, celui-ci aura dans cette partie un diamètre supérieur et la vitesse correspondante de la boue sera plus faible; voilà qui montre pourquoi, parmi de nombreuses autres raisons, l'opération doit être soigneusement contrôlée.

En plus de la vitesse, les autres facteurs qui influencent l'extraction des déblais sont la densité de ceux-ci, leur taille, la viscosité et la densité du fluide. La viscosité détermine la force ascensionnelle de la boue, elle dépend des propriétés et de la dispersion des matières en suspension qu'elle contient. L'aptitude de la boue à faire flotter les éléments qu'elle baigne dépend de sa densité; cela s'exprime par le poids de la boue par unité de volume.

Il y a des relations étroites entre les facteurs qui déterminent le comportement de la boue et l'on doit porter beaucoup d'attention lorsqu'on observe des changements. Pour remédier à la chute des déblais, on doit accroître la viscosité mais, ce faisant, les pressions de pompage peuvent atteindre un niveau inacceptable. Une augmentation de la densité aura un effet bénéfique au fond du forage, mais lorsque la boue parvient aux bassins de décantation, le dépôt des matières fines pourra ne plus se produire et il pourra en résulter une usure excessive de la station de pompage, spécialement si les matériaux sont abrasifs.

La constitution d'un revêtement sur les parois du forage est un élément essentiel.

Lorsqu'on fore dans une formation dont la taille des pores empêche la pénétration de la boue, l'eau contenue dans le fluide filtre à travers la formation, laissant derrière elle un gâteau de boue solide qui reste sur les parois du puits et limite les pertes supplémentaires d'eau dans la formation.

La pression hydrostatique qu'exerce la colonne de boue agit sur le gâteau qui tapisse les parois et permet de poursuivre le forage à travers des sables grossiers et des graviers sans qu'il soit nécessaire d'établir un tubage provisoire. Si le gâteau est trop fin, les parois pourront s'effondrer sous l'action des outils en rotation et l'on peut alors avoir de fortes pertes d'eau. Un gâteau très épais peut rendre difficile la remontée du train d'outils et peut même entraîner l'effondrement du forage en raison de l'effet d'écouvillonnage de l'outil de forage.

Une autre propriété importante des argiles, naturelles ou commercialisées, est de donner lieu à des gels. Le gel dépend du caractère thixotropique de la boue.

Lorsque la boue est en mouvement, elle a une certaine fluidité, qui est considérablement réduite lorsqu'elle est au repos. Cette propriété produit ses pleins effets lorsque la circulation est arrêtée pour ajouter une longueur de tige et il est d'une importance vitale de maintenir alors les solides en suspension. Si les solides viennent à tomber sur les épaulements des masses tiges et de l'outil de forage, ces derniers peuvent se trouver immobilisés dans le forage.

Une augmentation considérable de la pression de la pompe serait nécessaire pour combattre la thixotropie lors de la remise en marche de la circulation. Une boue très épaisse peut même surcharger le système et empêcher le dépôt des fines particules dans la fosse à boues. Il y a dans le commerce de nombreux additifs qui permettent de traiter la boue pour en ajuster les propriétés. Cela va de la coque de noix concassée et des morceaux de cuir déchiquetés, jusqu'à des composés chimiques complexes. La boue de forage constitue une science à elle seule; les hautes pressions, les hautes températures et les grandes profondeurs qui sont des éléments liés au forage pétrolier ont donné naissance à une technologie qui permet de venir à bout de ces difficultés. Le forage de puits pour l'exhaure de l'eau peut, d'autre part, être poursuivi et l'est souvent en n'utilisant en fait de contrôle de la qualité de la boue que l'expérience du foreur qui, pour tout instrument, n'utilise que son flair et son toucher.

Polymères organiques

L'une des propriétés essentielles de la boue est, ainsi que nous l'avons vu dans la précédente section, de former une croûte sur les parois du forage et il est évident qu'en certaines circonstances ce ne sera pas seulement la phase liquide la boue, mais l'argile elle-même qui pénétrera la formation géologique.

Il peut être très difficile, sinon impossible, d'éliminer toute la boue de la formation; en fait une telle boue reste souvent en place entre la crépine et la formation pendant des années, même dans un puits dans lequel le pompage est poursuivi régulièrement et on a souvent dit que des puits étaient improductifs du seul fait que l'aquifère avait été colmaté par de la boue. Il en est ainsi en particulier lorsqu'il y a plusieurs petits aquifères dont la production totale aurait pu être intéressante.

Des dispersants chimiques spéciaux ne sont pas toujours capables d'éliminer les particules d'argile même s'ils font partie du programme de mise en exploitation du puits.

Les polymères organiques ont été introduits pour apporter une solution à ce problème. Une poudre de polymère est dissoute dans de l'eau utilisée comme fluide de base, pour former une boue de forage remplissant les fonctions essentielles d'une bentonite classique, mais avec une différence fondamentale: Ses propriétés ne se conservent que pendant trois jours après quoi la boue retombe à une consistance voisine de celle de l'eau et est facilement éliminée de la formation. De plus elle n'a que de faibles propriétés thixotropiques et élimine beaucoup mieux les solides.

En fait de nombreux puits prendront beaucoup plus de trois jours pour être forés et on utilise des produits tels que la formaline pour prolonger la durée de vie de la boue. Quelques boues polymères peuvent être stabilisées pour une durée indéfinie. Pour casser la boue à un instant donné, on peut utiliser un additif tel que le chlore, à fort dosage. Il ne faut pas confondre ce traitement avec celui qu'on applique, avec un dosage léger, pour combattre les bactéries du sol.

On a depuis longtemps eu à faire face au problème que pose le passage de la boue lorsque il y a une variation du PH.

On admet maintenant que le maintien du PH à une valeur élevée dans une fourchette assez étroite assure la stabilité en la boue.

La plupart des fabricants fournissent des additifs sous leur marque propre pour obtenir de la boue convenant à des besoins particuliers.

Parvenu à ce point, on doit noter que bien que les ingénieurs utilisent de plus en plus dans le monde entier des polymères organiques pour les boues de forage, on a constaté l'apparition de problèmes bactériens qui peuvent ou non être associés à l'usage de ces polymères. C'est en ayant cette question présente à l'esprit que les chimistes expérimentent des polymères minéraux de synthèse destinés à constituer des boues pour le forage des puits. Ces produits seront bientôt disponibles.

Air

On a déjà parlé dans une précédente section de l'utilisation de l'air comme fluide de forage et on a noté que dans certaines circonstances on pouvait en retirer des avantages considérables. Une roche solide et dure constitue un milieu d'élection pour appliquer cette méthode et on pourra traverser des zones fissurées sans crainte de perdre des venues d'eau, ainsi que cela pourrait se produire du fait d'un colmatage par la boue dans les techniques qui recourent à des boues de forage.

Il n'y a pas non plus de risque de colmater un aquifère et il n'y a normalement aucun besoin d'eau pour la réalisation de forages.

Un inconvénient est que l'air ne peut pas convenir pour des formations comportant des vides.

Des problèmes se posent aussi lorsqu'on rencontre de petites venues d'eau qui tendent à agglomérer les déblais et il est parfois nécessaire d'injecter de l'eau avec l'air fourni pour produire une boue qui puisse régler la question.

La remontée rapide des déblais permet un échantillonnage représentatif et il est même parfois possible d'évaluer les possibilités potentielles d'un aquifère tout en poursuivant effectivement les opérations de forage si l'air permet d'assurer l'effet essentiel de remontée.

Cependant l'efficacité des opérations diminue lorsque s'accroît la profondeur en dessous du niveau de l'eau.

Mousse

On a conçu un agent moussant pour résoudre les problèmes qui se posent lorsque

- a) on ne peut procéder à une recirculation de boues du fait de pertes ou de difficultés pour l'alimentation en eau,
- b) la vitesse de l'air dans l'espace annulaire est insuffisante pour nettoyer convenablement le forage. Dans certaines conditions, on pourra réaliser la totalité d'un forage en utilisant de la mousse. Dans d'autres cas, la méthode ne fera l'objet que d'une application partielle.

L'introduction d'additif dans le flux d'air n'est pas un fait nouveau et des détergents ont été utilisés, il y a quelque vingt ans, pour résoudre des problèmes posés par l'agglomération des débris dans un forage ou se produisaient des suintements.

Dix ans après, la technique d'injection de mousse de bentonite a fourni un moyen de consolidation des formations mais reposait encore sur une assez grande rapidité du courant d'air et sur une forte puissance du compresseur. On trouva que l'air pouvait remonter des quantités d'eau plus importantes probablement parce que la boue, en assurant le revêtement du forage, procurait un puits bien lissé.

Des récents travaux ont permis d'obtenir une mousse stable qui ne requiert que des volumes d'air assez faibles, en première approximation $0,3 \text{ m}^3/\text{minute}$ par 25 mm de diamètre de l'outil de forage.

Il n'y a besoin ni de fosse à boues ni de lagunage car le fluide est mélangé dans un bassin et injecté par une pompe dans le dispositif d'alimentation en air. Il descend sous pression par le tube de forage et passe à travers l'outil de forage qu'il lubrifie et refroidit. L'action expansive et moussante se développe alors et la poussée est suffisante pour faire monter les déblais dans l'espace annulaire à petite vitesse, c'est-à-dire 12 à 15 m. par minute pour l'air seul. La mousse a la consistance de celle que l'on obtient avec une bombe à raser et apparaît souvent en surface dans une série de pulsations. Certains pensent qu'il en résulte un meilleur nettoyage du forage.

La mousse tombe en 30 à 45 minutes; elle abandonne les déblais qu'elle a entraînés. Elle est évacuée de la tête du puits par un dispositif circulaire de collecte et une canalisation horizontale.

Un fluide type comportera 100 litres d'eau par litre de mousse avec 0,2 à 0,35 kg de stabilisant. Il est injecté à raison de 5 à 7 litres par minute.

Des forages de 150 à 650 mm peuvent être établis en utilisant de la mousse et il

existe un fluide spécial pour les marteaux fond de trou dans les cas où il faut obtenir une meilleure lubrification.

En fin de compte, bien qu'il existe des directives pour l'utilisation de la mousse, c'est une technique qui peut être encore améliorée par l'expérience. Il appartient donc au foreur de combiner les divers éléments en présence pour obtenir les meilleurs résultats en fonction des circonstances dans chaque cas particulier.

3. études expérimentales en vue de l'établissement d'un projet de station de traitement d'eau

Sédimentation

Pour l'établissement d'un projet, un bassin de sédimentation (ou de décantation) peut être décomposé en quatre parties : l'entrée, la zone de décantation, la sortie et la zone de dépôt des boues.

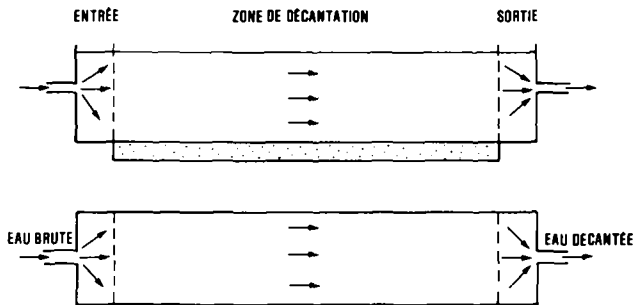


Figure 1.
Schéma des diverses parties d'un bassin de sédimentation

Le travail effectif du bassin est réalisé dans la zone de décantation. La zone d'entrée assure la distribution homogène de l'eau brute dans l'ensemble de la section transversale du bassin. La zone de sortie permet la collecte uniforme de l'eau clarifiée sur toute la profondeur et la largeur du bassin.

La zone de dépôt des boues regroupe les particules en suspension retirées de l'eau au cours de la décantation.

La décantation peut être naturelle ou faire appel à des flocculants. Lors d'une décantation naturelle, il n'y a aucun regroupement en floccs plus gros des matières en suspension finement divisées. Cela implique que, durant tout le processus de décantation, la taille, la forme et la densité des particules restent inchangées, d'où une vitesse de décantation constante. Avec une décantation assistée de flocculants, les particules s'agglomèrent et l'agrégat décante plus rapidement. Ce processus se répète plusieurs fois, et la vitesse de décantation s'accroît au fur et à mesure que les particules grossissent. La décantation naturelle se produit de la manière suivante :

La trajectoire suivie par une particule isolée dans la zone de décantation dépend de

deux composantes de sa vitesse : la vitesse de déplacement horizontal de l'eau et la vitesse de décantation de la particule. Dans les conditions idéales, la vitesse horizontale de l'eau et de toutes les particules qu'elle contient sera constante : $v = v_0$. La distribution des vitesses de décantation peut être déterminée expérimentalement.

On utilise un cylindre en matière plastique, de préférence transparente. Le diamètre du cylindre est habituellement d'environ 20 cm et la hauteur de 2 mètres (1) (figure 2.). Le test de décantation dure en général une journée et ne demande qu'un équipement simple.

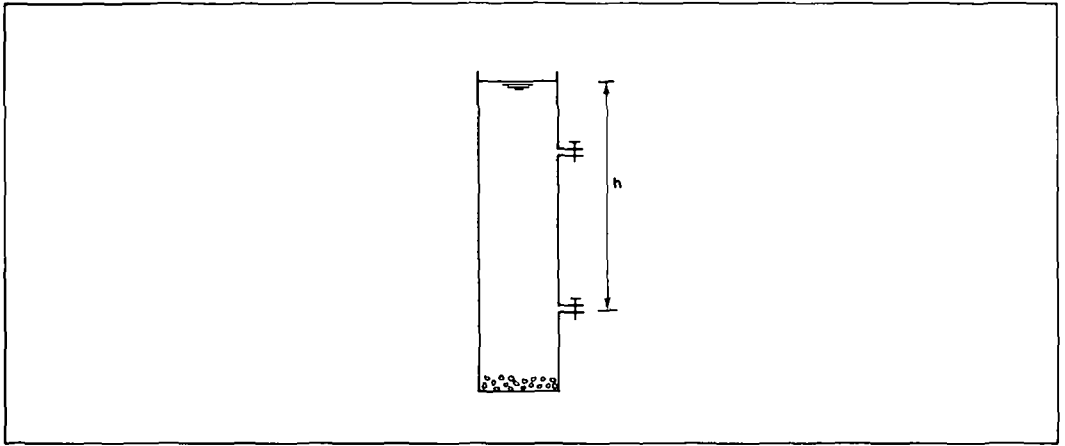


Figure 2.
Cylindre expérimental pour la recherche de la vitesse de décantation

Le cylindre est rempli avec un échantillon d'eau. Après avoir doucement remué l'ensemble pour assurer aux particules une distribution homogène sur toute la profondeur, le test commence lorsque la masse d'eau est redevenue calme. On prélève des échantillons à intervalles réguliers par les robinets destinés à cet effet. Les échantillons sont analysés pour la turbidité, la teneur en solides en suspension ou tout autre facteur caractéristique du processus de décantation. Si les particules décantent naturellement avec une vitesse constante, un échantillon pris à un instant t , à une profondeur h en dessous de la surface de l'eau ne peut contenir de particules dont la vitesse de décantation soit supérieure à h/t (figure 3.).

(1) Deux robinets ou plus sont aménagés pour pouvoir prélever des échantillons

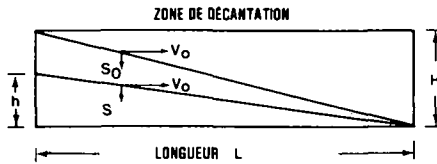


Figure 3.
Trajectoire suivie par les particules dans la zone de décantation

Par exemple, dans une telle expérience de décantation, les mesures faites sur les échantillons prélevés à une profondeur $h = 1,25$ m. donnent les résultats suivants :

Temps	$t = 0$	1/4	1/2	3/4	1	1 1/2	2 heures
Teneur en matières en suspension (mg/l)	$c = 86$	83	63	49	37	16	6 mg/l

A partir de là, on peut calculer la répartition des fréquences cumulées des vitesses de décantation :

100 c/c	=	100	96	73	57	42	19	7	%
$s = h/t$	=	∞	5	2,5	1,67	1,25	0,83	0,63	m/h

Ces résultats peuvent être reportés sur une courbe (figure 4.).

Pour être certain qu'une décantation naturelle s'est établie, on prélèvera également des échantillons à d'autres profondeurs, par exemple à 0,5 m, qu'on analysera de la même manière. Les points obtenus devront se trouver sur la même courbe.

La vitesse de décantation, s , varie d'une particule à l'autre. Toutes les particules ayant une vitesse de décantation supérieure à s sont complètement éliminées, alors que les particules ayant une vitesse de décantation plus faible ne seront qu'en partie éliminées, dans la proportion s/s_0 qui est égale à h/H .

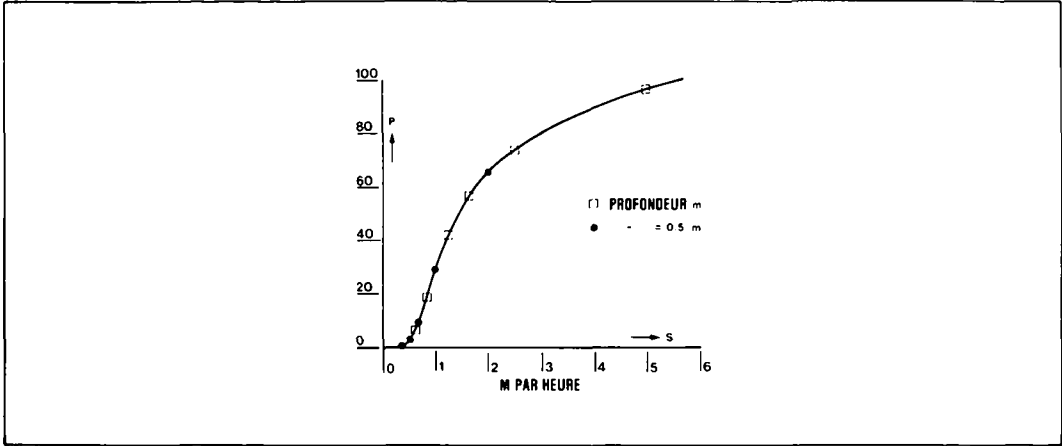


Figure 4.
Répartition des fréquences cumulées des vitesses de décantation

La figure 5. fournit une méthode graphique pour déterminer la proportion globale d'élimination à partir de la courbe de la figure 4.

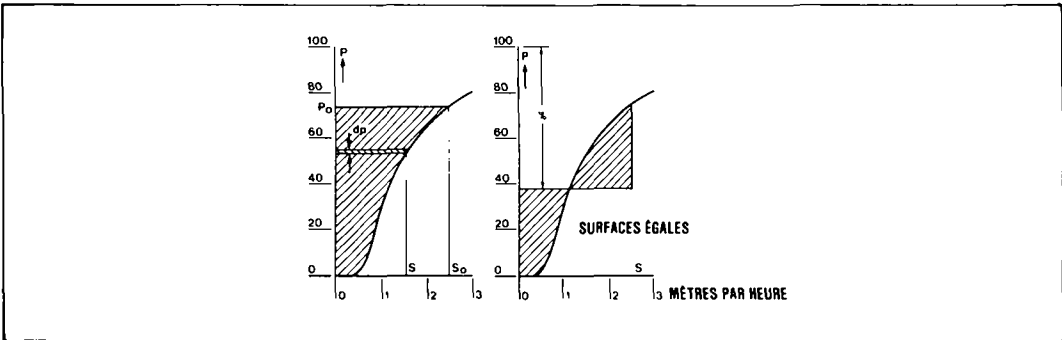


Figure 5.
Répartition des fréquences cumulées des vitesses de décantation

Pour une valeur prise au hasard de s_0 , la proportion d'élimination est donnée par la formule ci-après :

$$r = (1 - p_0) + \int_0^{p_0} \frac{s}{s_0} dp = (1 - p_0) + \frac{1}{s_0} \int_0^{p_0} s dp$$

Dans la partie droite de la formule, l'intégrale représente la partie hachurée sur le graphique de droite de la figure 5. La proportion d'élimination totale r peut être trouvée

facilement de manière graphique en traçant une ligne horizontale telle que les deux triangles hachurés aient des surfaces égales. En répétant cette opération pour des valeurs différentes de s_0 on obtient la courbe de la figure 6. sur laquelle on lit la valeur de s_0 pour tout rapport d'élimination r que l'on désire obtenir.

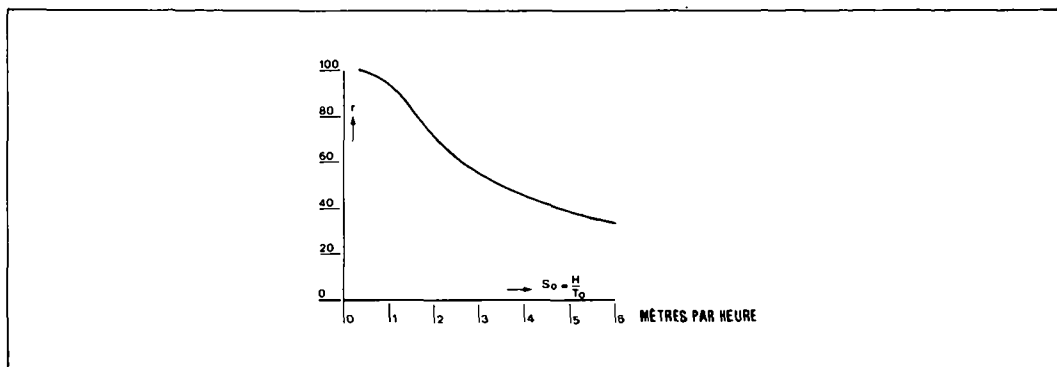


Figure 6.
Rapport d'élimination - r - en fonction des charges superficielles pour les particules ayant la répartition des fréquences cumulées des vitesses de décantation indiquée sur la figure 4.

Il a été montré plus haut (figure 3.) que :

$$\frac{s_0}{v_0} = \frac{H}{L}, \text{ soit avec } v_0 = \frac{Q}{BM}, s_0 = \frac{Q}{BL}$$

Le taux d'élimination dépend donc de la charge superficielle, qui est le rapport entre la quantité d'eau à traiter et la surface du bassin; la profondeur du bassin n'intervient donc pas.

La méthode d'analyse présentée ici suppose que la décantation n'est pas troublée par les turbulences dans l'écoulement de l'eau à travers le bassin, ni par des remous ou des courants transversaux provoqués par le vent. L'efficacité de la décantation est en général élevée avec un bassin long et étroit dans lequel le rapport entre la longueur et la largeur est de l'ordre 4 à 6.

Filtration lente sur sable

Les résultats de la filtration, pour ce qui concerne les résultats obtenus et la durée de l'opération de filtration, sont essentiellement influencés par quatre éléments intervenant dans la conception du filtre : L'épaisseur du lit filtrant; la granulométrie des matériaux filtrants; le débit de filtration et l'épaisseur de la couche d'eau brute. Avec une filtration

lente sur sable, l'interaction de ces éléments est très simple car, avec une épaisseur du lit filtrant 0,60 m, l'amélioration de la qualité de l'eau ne dépend alors que de la granulométrie du matériau filtrant.

L'effet de la granulométrie sur la qualité de l'effluent, en particulier sur la présence de coliformes et d'E. Coli, peut être déterminé sur une station pilote fonctionnant avec des filtres expérimentaux comportant des types différents de sables localement disponibles, avec des tailles effectives comprises entre 0,15 et 0,35 mm. Ces filtres sont faciles à construire, par exemple avec un tronçon de conduite en béton ou en fibrociment de 3 m. de long ayant un diamètre de 0,5 à 1 m., ainsi qu'on peut le voir sur la figure 7.

Sur la base d'une première série d'expériences, on sélectionne un sable suffisamment fin pour fournir un effluent de qualité acceptable. Une seconde série d'expériences se poursuit avec cette qualité de sable. On détermine alors la durée de fonctionnement du filtre pour différentes charges.

Dans ces conditions moyennes, une durée de fonctionnement de deux mois est admissible, la durée minimale dans les périodes de haute turbidité de l'eau brute ne devant pas être inférieure à deux semaines.

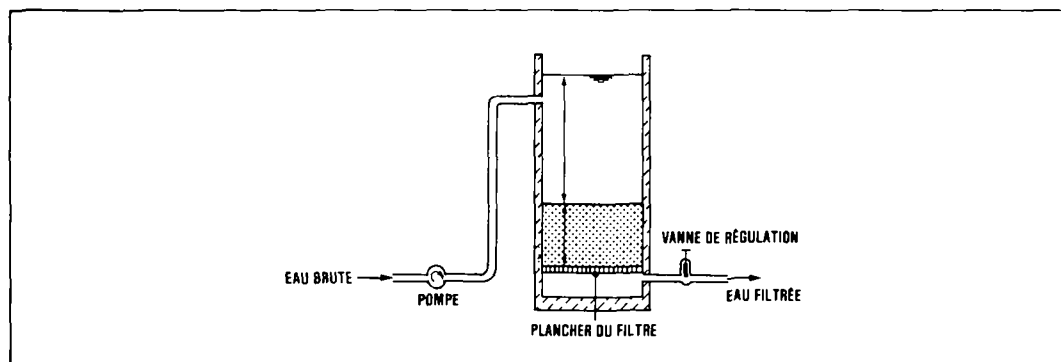


Figure 7.
Filtre lent sur sable expérimental

La durée de fonctionnement du filtre dépend aussi de la perte de charge maximale admissible qui, à son tour, s'accroît avec l'augmentation de l'épaisseur de la couche d'eau brute. Dans la filtration lente sur sable, tout particulièrement, on doit éviter les charges négatives (pressions d'eau en dessous de la pression atmosphérique) quelles que soient les circonstances, car elles peuvent entraîner la libération de gaz dissous.

Les bulles d'air s'accumuleraient alors dans le lit filtrant, augmentant la résistance au mouvement descendant de l'eau; la montée de bulles d'air de grandes tailles produirait

alors des trous dans le lit filtrant, permettant un passage rapide de l'eau dont le traitement serait alors insuffisant. En se référant à la figure 8, cela limite la perte de charge admissible à la hauteur de la couche d'eau brute augmentée de la résistance du lit filtrant propre.

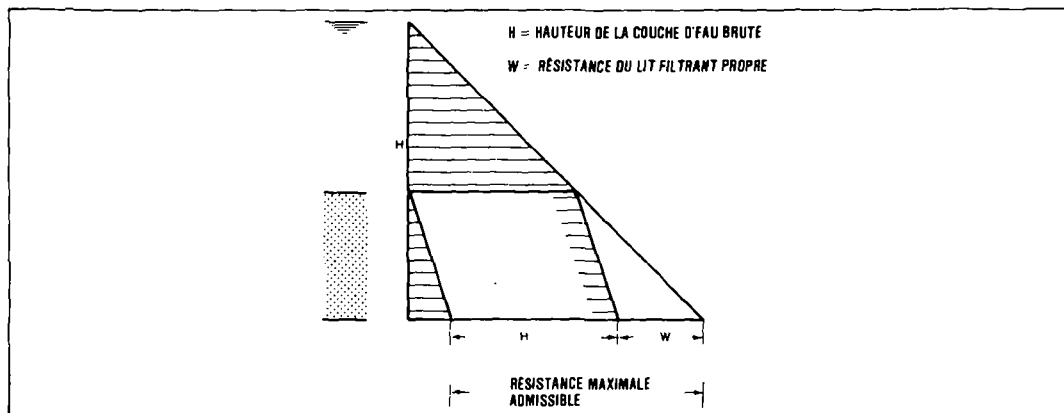


Figure 8.
Distribution des pressions dans un lit de filtration lente sur sable

Filtration rapide

Pour la conception d'une station de filtration rapide, quatre dimensions sont à déterminer :

- l'épaisseur du lit filtrant
- la granulométrie du matériau filtrant
- la hauteur de la couche d'eau brute
- le débit de filtration.

Ces dimensions sont interdépendantes, de sorte que l'amélioration de la qualité de l'eau et la durée de fonctionnement du filtre sont conjointement influencées. Cependant, l'influence sur le coût de construction est plutôt différent. La granulométrie du milieu filtrant n'a pratiquement aucune influence sur les coûts de construction. Une granulométrie plus faible améliorera la qualité de l'effluent, mais elle entraînera un colmatage plus rapide du lit filtrant, avec une réduction de la durée de fonctionnement du filtre. Pour des grains de taille inférieure à 0,8 mm, un nettoyage supplémentaire à l'air peut être nécessaire pour maintenir propre le lit filtrant. Une plus grande épaisseur du lit filtrant améliorera la qualité de l'effluent, mais l'influence sur la résistance du filtre et le coût de construction sont faibles. L'épaisseur de la couche d'eau brute doit être assez grande pour éviter les sous pressions. Une épaisseur plus grande du lit permet une perte de charge plus importante et une plus

longue durée de fonctionnement. L'influence sur le coût de construction est limitée. Le facteur le plus important est le débit de filtration. Un débit plus important de filtration pourrait provoquer un abaissement de la qualité de l'effluent et une réduction de la durée du fonctionnement du filtre. Il réduira toujours de beaucoup le coût de construction car la surface nécessaire pour l'établissement du lit filtrant se trouve réduite alors que le débit d'eau filtrée est plus important.

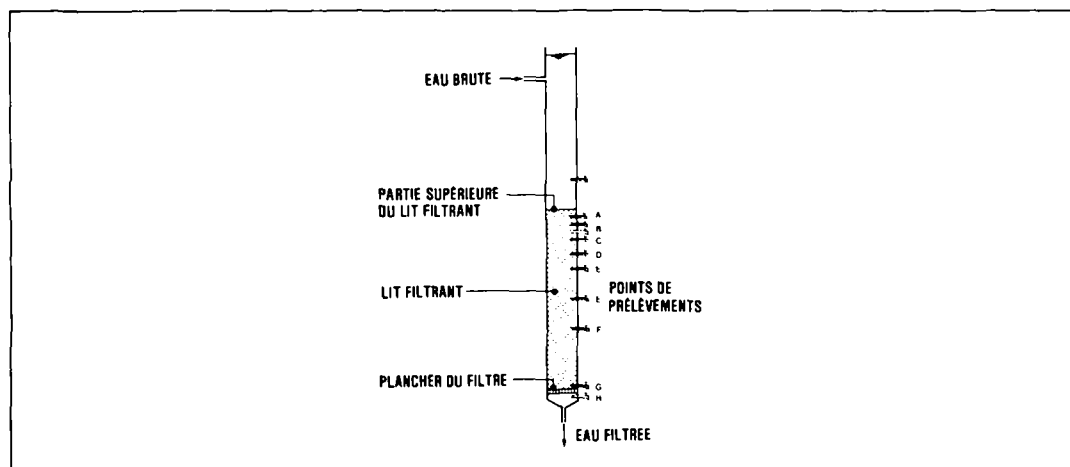


Figure 9.
Filtre expérimental

La conception d'une station de filtration rapide peut reposer sur les résultats obtenus dans une station pilote, utilisant un filtre expérimental (figure 9.).

On choisit d'abord la taille des grains du matériau filtrant; après quoi on peut rechercher l'influence de tous les autres facteurs : débit de filtration, épaisseur du lit filtrant, épaisseur de la couche d'eau à filtrer. Si aucune combinaison acceptable ne pouvait être trouvée, les expériences seraient à répéter avec une autre granulométrie, plus fine ou plus grossière selon les résultats obtenus. La confiance à accorder à ces résultats est cependant affectée du fait de l'extraction de l'eau aux différents points de prélèvement, ce qui perturbe l'écoulement principal à travers la colonne filtrante. Pour les petites stations, cela peut être compensé par un débit de filtration plus faible ou, plus économiquement, par une légère augmentation de l'épaisseur du lit filtrant.

Sur la base des résultats préliminaires, trois filtres sont par exemple remplis de sable avec une taille de grains de 0,8 mm, avec des épaisseurs de matériaux filtrants de 1,0, 1,2 et 1,5 m fonctionnant sous un débit de 10 m/heure; les résultats obtenus sont présentés sur la figure 10.

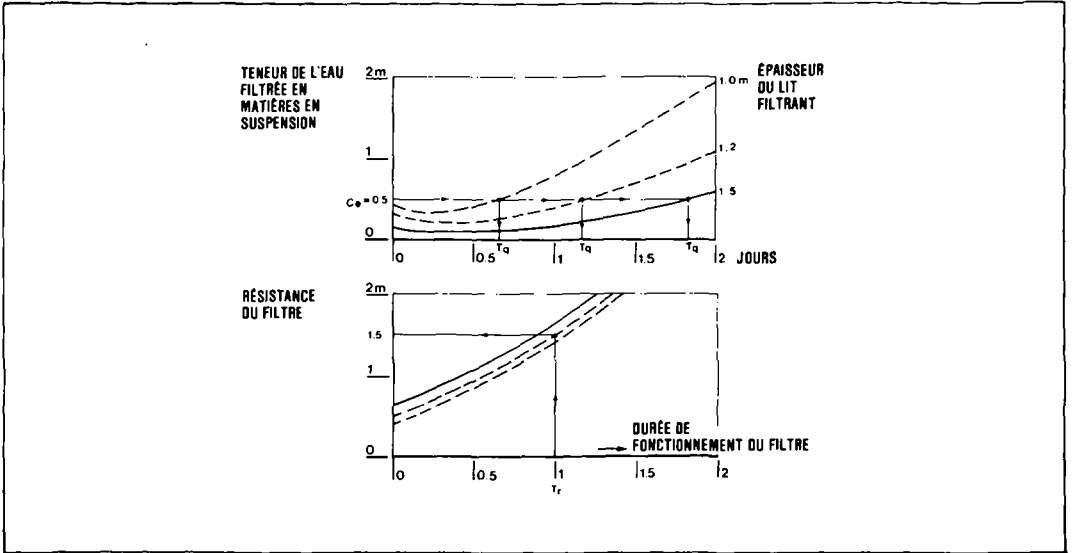


Figure 10.
Graphique présentant les résultats expérimentaux

Lorsque l'on part maintenant de la qualité de l'effluent que l'on désire obtenir, par exemple ayant une teneur en matières en suspension ne dépassant pas 0,5 mg/l, la durée de fonctionnement du filtre se lit à partir du graphique supérieur de la figure 10, en fonction de l'épaisseur du lit filtrant.

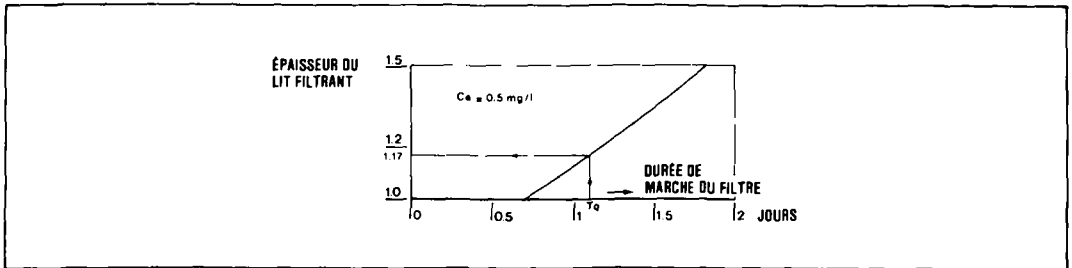


Figure 11.
Graphique montrant la relation entre l'épaisseur du lit filtrant et la durée de fonctionnement du filtre à partir des résultats expérimentaux présentés sur la figure 10.

Comme second résultat que l'on souhaite obtenir, on peut fixer la durée de fonctionnement du filtre, par exemple 1,1 jour; la figure 11 fournit alors l'épaisseur nécessaire pour le lit filtrant soit 1,17 m ou 1,20 m, en arrondissant.

A titre de sécurité supplémentaire, la durée de fonctionnement du filtre, T_r , en fonction de la résistance du lit filtrant sera prise à une valeur de 10 % inférieure, soit 1,0 jour; le graphique du bas de la figure 10. indique une résistance de 1,5 m. Pour la résistance du lit propre, au début de l'opération, à $t = 0$, ce graphique indique une valeur de 0,50 m, ce qui nécessite une épaisseur de liquide à filtrer de 1,0 m pour éviter les sous charges en toute certitude. Avec les filtres rapides, les impuretés pénètrent à une certaine profondeur dans le lit filtrant et l'on obtient sur la figure 12 la distribution des pressions finalement admissibles (ligne pointillée).

Cela permettrait de limiter à 0,85 m environ l'épaisseur de la couche alimentant le filtre. L'économie en résultant pour le coût de construction est cependant faible et, par sécurité, on adoptera la valeur initiale du 1,00 m. En réalité, de nombreux projets admettent une épaisseur beaucoup plus petite, 0,40 m par exemple, pour diminuer le coût de construction.

Des sous pressions risquent alors d'apparaître et, comme la solubilité des gaz est proportionnelle à la pression, les gaz tendent à s'échapper de la solution, en formant des bulles d'air qui s'accumulent dans le lit filtrant, ce qui augmente la résistance au mouvement de descente de l'eau et provoque un arrêt prématuré du fonctionnement du filtre. Cependant cela n'arrivera pas lorsque l'eau brute contient de grandes quantités de matières organiques ou d'ammoniaque. Au cours de la filtration, la teneur de l'eau en oxygène baissera fortement, réduisant la pression totale du gaz à 0,8 ou 0,9 atmosphère.

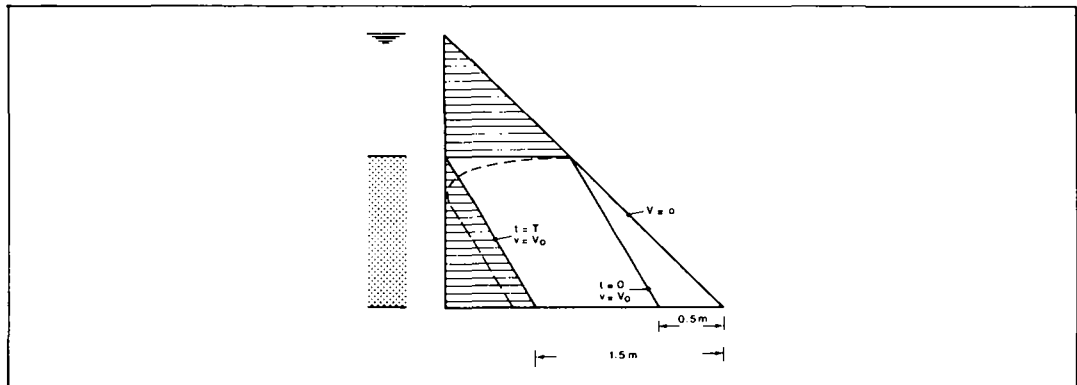


Figure 12.
Répartition des pressions dans le lit d'un filtre rapide

Lorsque les résultats expérimentaux de la figure 10. ont été obtenus avec une qualité moyenne de l'eau brute, la durée de fonctionnement sera plus élevée avec une eau brute ayant une plus faible turbidité. Cela ne provoquera pas de difficultés dans le fonctionnement mais, afin d'éviter la pénétration en profondeur des impuretés dans le lit filtrant, les filtres devront être nettoyés à contre courant au moins tous les trois jours. Lorsque l'eau brute aura une teneur en matières en suspension supérieure à la moyenne, la durée de fonctionnement du filtre sera écourtée.

4.

les produits chimiques utilisés dans le traitement de l'eau

Dénomination chimique et formule	Dénomination courante	Utilisation	Formes disponibles	Teneur du produit du commerce	Présentation	Apparences et propriétés	Matériels convenant au transport	Teneur usuelle (solution ou suspension)	Conditions d'application du produit	Remarques
Sulfate d'alumine $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$	Alun, Sulfate d'Alumine	Coagulant	Blocs Barres Mottes Granulés Poudres	15-17 % Al_2O_3	Sacs Barils Vrac	Gris-blanc à marron clair Cristaux acides Légèrement hygroscopique corrosif	<u>Sec</u> : fer acier <u>Solution</u> : Réservoirs - en briques résistant aux acides - en béton revêtus bitume ou plomb - revêtus caoutchouc	8-10 %	<u>Humide</u> ou <u>sec</u>	pH de la Solution à 1 % 3,4
Sulfate d'alumine Alun liquide $Al_2(SO_4)_3$	Alun liquide	Coagulant	Solution poids spécifique 1,1	8 % Al_2O_3	Réservoirs fer ou acier revêtus de caoutchouc	Solution marron acide, corrosive	Réservoirs brique godronnée résistante aux acides ou béton revêtu plomb ou caoutchouc	Normale ou solution à 1 %	Bombonne à ajustage Pompes doseuses	Moins coûteux que l'alumine à l'état sec si on se le procure près de la source de fabrication
Complexe argileux aluminosilico magnésien	Argile colloïdale	Adjuvant coagulation Agent de flocculation	Poudre granulométries diverses	-	Sacs	Argile jaune brunâtre	Fer ou acier	Solution colloïdale	<u>Humide</u> (suspension)	-

Poudre à blanchir

VOIR CHLORURE DE CHAUX

Hydroxyde de calcium Ca(OH)_2	Chaux hydratée, hydrate de chaux	Ajustement du pH et adoucissement	Poudre	80-95 % Ca(OH)_2 60-70 % CaO	Sacs, Barils ou Vrac	Poudre blanche caustique	Fer, acier ou béton	Saturée ou suspension à 1-5 %	Sec : (nécessité d'une agitation répétitive), ou humide : peut-être administré en suspension	Pas très soluble Ne pas utiliser de réservoirs en plomb
Hypochlorite de calcium $\text{Ca(OCl)}_2, 4\text{H}_2\text{O}$	HTH, Perchloron, Pitchlor, Hypochlorite à forte teneur	Lutte contre les odeurs et les goûts. Désinfection	Granulés, poudres, comprimés	60-70% chlore disponible	Boites Barils	Granulés blancs sentant la chlore	Verre Caoutchouc Plastique, Grès Bois	Solution contenant 1 à 3 % de chlore disponible	Voie humide	Produit dangereux; stocker dans un local bien ventilé à l'abri de l'humidité
CaO	Chaux vive	Ajustement du pH et adoucissement	Morceaux de Pierres Granulés-Poudre	75 à 99%	Sacs Barils Vrac	Blanc à gris clair caustique	Fer, acier béton	Solution 1 à 5 %	Sec : laisser Ta chaux s'éteindre avant application Liquide : peut être appliqué en suspension	Ne pas utiliser de récipient en plomb pH de la solution saturée : 12,4
Charbon activé C	Charbon activé Norite	Lutte contre les goûts et les odeurs Déchloration	Granulés ou poudres	Pas moins de 80 % de C	Sacs ou Vrac	Granulés noirs ou poudre insoluble	Fer, acier ou plastique	Sec : en Tirs liquide : en suspension boueuse	Liquide : goutte à goutte	-

Chlorure de chaux $\text{CaO} \cdot 2\text{CaOCl}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	Poudre à blanchir Chlorure de chaux	Désinfection	Poudre	25 à 30 % de chlore disponible (lorsqu'il est frais)	Fûts	Poudre blanche, hygroscopique, instable, irritante	Récipient en plastique, grès ou en caoutchouc	1 à 2 %	<u>Voie humide</u>	Se dégrade lors du stockage en perdant sa force Stocker dans un local sec bien ventilé
Chlore Cl_2	Chlore gazeux Chlore liquide	Désinfection. Lutte contre les goûts et les odeurs. Oxydant de base	Gaz liquéfié sous pression	99 à 99,8 % de Cl_2	Bouteilles et récipients sous pression	Gaz jaune vert, piquant, corrosif, plus lourd que l'air stockage et manipulation dangereux	Sec : fer noir, cuivre, Gaz humide : verre, caoutchouc fort, argent	-	<u>Par voie humide</u> en utilisant des dispositifs spéciaux de chloration	Produit dangereux, à manier avec beaucoup de soin. Prévoir des masques et autres moyens de secours
Sulfate de cuivre $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	Vitriol bleu, cristaux bleus	Algicide. Antimousses	Cristaux Morceaux Poudre	90 à 99 % de $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	Sacs, Fûts Barils	Cristaux bleu clair et poudre	Acier inoxydable et plastique	Solution 1 à 2 %	Sec : disposer dans des sacs de toile et tirer dans l'eau avec un bateau	-
Chlorure ferrique a) Solution de FeCl_3	Chlorure ferrique, chlorure de fer	Coagulant	Solution	35-45 % de FeCl_3	Bonbonnes Citerne	Solution sirupeuse brunâtre, très corrosive	Verre Grès Caoutchouc et résines synthétiques	Solution 3 à 5%	Dispositif doseur ou goutte à goutte	pH optimal 4 - 11

b) $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Chlorure ferrique cristallisé	Coagulant	Morceaux, barres, cristaux	59 à 60% de FeCl_3 20 à 21% de Fer	Fûts	Morceaux très hygroscopiques, brun jaunâtres, très corrosifs	Récipients chemisés de caoutchouc ou en grès, ou en plastique	Solution 3 à 5%	Dispositif doseur ou goutte à goutte	pH optimal 4 à 11 Conserver dans des réservoirs étanches
c) FeCl_3	Chlorure ferrique anhydre	Coagulant	Poudre Cristaux	98% de FeCl_3 34% de Fer	Fûts Tonneaux	Poudre vert foncé	Comme ci-dessus	Solution 3 à 5%	Comme ci-dessus	Conserver dans des récipients étanches
Sulfate ferrique $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$	Sulfate de fer	Coagulant	Granulés Cristaux, Morceaux	90-94 % $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 26% de fer	Sacs Fûts	Poudre rouge brunâtre. Cristaux ou granulés. Solution hygroscopique très corrosive.	Sec : fer, acier et béton Liquide : plomb, acier inoxydable ou plastique	Solution 3 à 6%	Liquide : Comme ci-dessus	Tache
Sulfate ferreux $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Vitriol vert, vitriol, cristaux, sulfate	Coagulant	Morceaux, granulés	45 à 55% de FeSO_4	Sacs Fûts En vrac (plastique)	Cristaux jaune-brun-vert, morceaux et mottes hygroscopiques sous stockage au-dessus de 20° C	Cendres Béton goudronné, fer blanc et acier	Solution 4 à 8%	Liquide : Comme ci-dessus	pH optimal 8,5 à 10. Une addition de chaux peut être nécessaire
Chaux	VOIR HYDROXYDE DE CALCIUM									

Silice activée SiO_2	Solution de silice activée de Silice	Adjuvant de coagulation	Produite sur place sur demande à partir du silicate de soude	De 25 à 30 % de SiO_2 De 8 à 15 % de Na_2O %	Fûts ou en vrac	Liquide sirupeux clair, souvent opalescent, fortement alcalin	Acier doux Acier inoxydable ou caoutchouc	<u>En liquide seulement</u> Préparer des doses de produit en diluant et en acidifiant. Laisser vieillir avant d'appliquer	0,6 %	Risque de colmatages lors de l'application à moins que le pH ne soit correctement ajusté
----------------------------------	--------------------------------------	-------------------------	--	--	-----------------	---	--	---	-------	--

Cendre de soude

VOIR CARBONATE DE SOUDE

Aluminate de sodium $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{O}_4$	Aluminate de soude	Coagulant	Flocons cristallisés (ou solution)	43 à 45% Al_2O_3	Sacs, Fûts ou solution	Cristaux blancs ou gris. Liquide caustique et corrosif Hygroscopique	Fer, plastique Caoutchouc, acier ou béton	Solution à 5 %	<u>Sec : avec agitateur liquide</u>	-
Carbonate de sodium Na_2CO_3	Cendre de soude	Ajustement de pH et adoucissement	Poudre ou Cristaux	98 à 99% de Na_2CO_3	Sacs, Fûts ou Vrac	Poudre blanche caustique	Fer, acier ou caoutchouc	Solution à 1 à 10%	<u>Sec : avec agitation liquide</u>	Dégagement de chaleur pH de la solution à 1 : 11,2
Hexameta-phosphate de sodium $(\text{NaPO}_3)_6$	Calgon Phosphate vitreux	Adoucissement, Prévention de l'entartrage et de la corrosion	Poudre ou flocons	60 à 63% de P_2O_3	Sacs	Flocons opaques analogues à verre cassé	Acier inoxydable, plastique, caoutchouc fort, fibre de verre	Solution à 0,25 %	<u>Liquide seulement</u> en utilisant un dispositif à compte gouttes ou un système doseur	Evite les dépôts Protège l'acier doux

Hydroxyde de sodium NaOH	soude caustique, lessive	Ajustement du pH, adoucissement - nettoyage de filtre	Granulés, flocons, en morceaux (ou en solution)	96 à 99% de NaOH	Fûts Vrac	Blanc, Alcalin, Très corrosif Hydrogros-copique et très dangereux pour la peau	Fonte Acier doux revêtu du caoutchouc	Solution 1 à 10 %	Liquide : pompes doseuses, flacon compte gouttes	Vêtements protecteurs nécessaires lorsqu'on prépare les solutions Gros dégagement de chaleur. pH de la solution à 1 %: 12,9
Hypochlorite de sodium NaOCl	Hypochlorite en solution. Lessive. Eau de Javel	Désinfectant	Solution	Disponible à 10 à 15% de Cl ₂ (lorsqu'il est frais)	Bonnes Citer-nes	Liquide jaune pâle Dégage du chlore; corrosif et alcalin	Céramique verre plastique caoutchouc	1 à 3 % de chlore disponible	Liquide : goutte à goutte ou directement	Manipuler avec attention
Sulfite de sodium Na ₂ SO ₃		Réduction Déchloration	Poudre Morceaux	90-99 % de Na ₂ SO ₃	Sacs Fûts	Poudre blanche	Acier inoxydable, Plastique	Solution à 1 %	Liquide : pompes doseuses	8 mg/l de Na ₂ SO ₃ éliminent 1 mg/l O ₂
Thiosulfate de sodium Na ₂ S ₂ O ₃ · 5H ₂ O	Hypo	Déchloration	Poudre Cristaux	95 à 99% de Na ₂ S ₂ O ₃	Sacs	Cristaux blancs ou granulés très solubles	Fonte à faible teneur en carbone, Acier, Grès	Solution à 1 %	Liquide : goutte à goutte	-
Dioxyde de soufre SO ₂	Gaz sulfureux	Déchloration ou nettoyage de filtre	Gaz	100 % SO ₂	Bouteilles métalliques à gaz	Incolore Gaz acide, irritant et suffocant	Acier	Sec	Sec	-

Acide sulfurique H ₂ SO ₄	Vitriol	Ajustement du pH - Réduction de l'alcalinité	Liquide	77 % ou 98 % de H ₂ SO ₄	Verre, Bonbonnes	Liquide sirupeux, Acide très dangereux, corrosif et hygroscopique	Réservoirs en plomb ou en métal chemisé de verre	Solution à 1-2 % Verser toujours l'acide dans un grand volume d'eau, en agitant	Liquide : Solution diluée versée à partir d'un flacon compte gouttes ou d'un dispositif doseur	Danger : une grande quantité de chaleur se dégage lorsqu'on déverse de l'acide dans l'eau et il peut en résulter des projections
--	---------	--	---------	--	------------------	---	--	--	--	--

5.

facteurs de conversion des mesures

Longueurs

1 Inch (In) (pouce)	=	25,4 millimètres (mm)
1 foot (ft) (pied)	=	0,3048 mètre (m.)
1 yard (yd)	=	0,9144 mètre (m.)
1 mile	=	1,6093 kilomètre (km)

Surfaces

1 square inch (SQ in)	=	6,4516 centimètres carrés (cm ²)
1 square foot (SQ ft)	=	0,0929 mètre carré (m ²)
1 square yard (SQ yd)	=	0,8361 mètre carré (m ²)
1 square mile	=	2,59 kilomètres carrés (km ²)
1 acre	=	0,4047 hectare (ha)
1 hectare (ha)	=	2,4710 acres

Volumes

1 cubic inch (Cu in)	=	16,8871 centimètres cubes (cm ³)
1 cubic foot (Cu ft)	=	28,317 litres (l)
1 cubic yard (Cu yd)	=	0,7646 mètre cube (m ³)
1 acre foot (Acre ft)	=	1233,48 mètres cubes (m ³)
1 (UK) Gallon (l) (Gal UK)	=	4,5461 litres (l)

Débit

1 UK Gallon per minute (UK Gal/min)	=	272,77 litres/heure
1 US Gallon per minute (US Gal/min)	=	227,12 litres/heure

Poids

1 pound (Lb)	=	0,4536 kilogramme (kg)
--------------	---	------------------------

Force

1 pound (Lb)	=	0,4586 kilogramme force (kg f)
	=	4,4482 newton (n)

1) Connu également sous le nom d'Imperial Gallon

Pression

1 pound per square inch (PSI) (1)	=	0,0703 kilogramme force par cm^2 (kg f/ cm^2)
1 pound per square foot (Lb/sq/ft)	=	4,8824 kilogrammes force par mètre carré (kg f/ m^2)
1 atmosphere (Atm)	=	1,03322 kilogramme force par cm^2 (kg f/ cm^2)

Energie

1 horse-power	=	0,7457 kilowatt (kw)
1 foot pound per second (ft lb/sec)	=	1,3558 watt (w)

Taux de charge de traitement

1 UK Gallon per square foot	=	1,1744 mètre cube par mètre carré et par jour ($\text{m}^3/\text{m}^2/\text{j.}$)
-----------------------------	---	--

(1) Egalement Lb/sq.in

A QUI S'ADRESSER :

Edition

Ms. H. Wolsink

Composition

D. Mos

Dessins

M. Middelburg

Impressions

Simonis B.V.

C.I.R. Rijswijk, Pays-Bas 1983