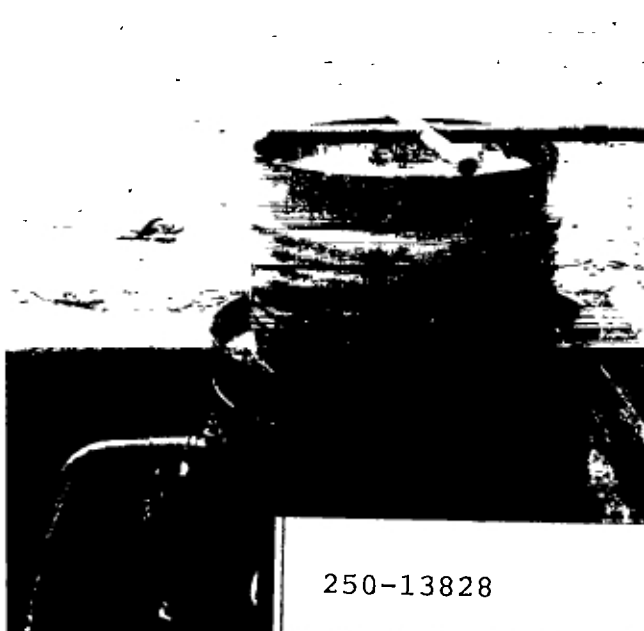
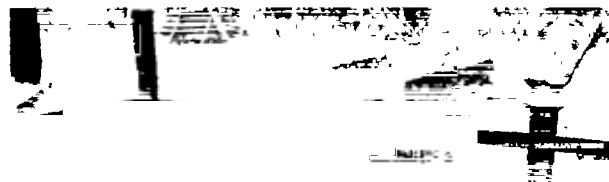
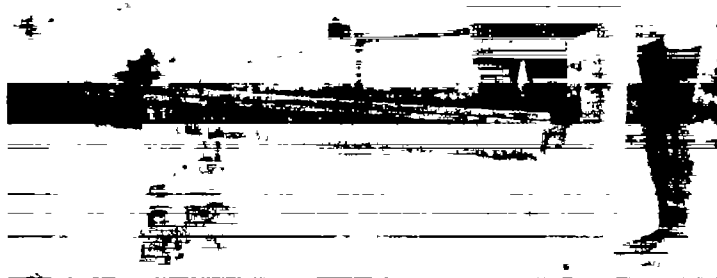
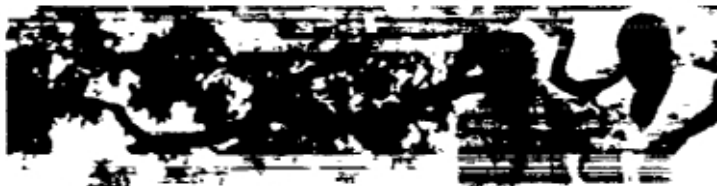


250 96DE

**Centre régional pour l'Eau Potable et l'Assainissement**

**Centre collaborant de l'OMS**



# **La déferrisation des eaux de forage**

**Synthèse  
des techniques  
expérimentées avec  
succès par le CREPA**

250-13828

Première Edition

© 1996

Reproduction, même partielle, Interdite  
sous quelque forme ou sur quelque support  
que ce soit sans l'accord écrit du CREPA Siège.





**LA DEFERRISATION DES EAUX DE FORAGE :  
SYNTHESE DES TECHNIQUES EXPERIMENTEES  
AVEC SUCCES AU CREPA**

**CREPA**

Centre Régional pour l'Eau Potable  
et l'Assainissement à Faible Coût

**1996**

LIBRARY IRC  
PO Box 93190, 2509 AD THE HAGUE  
Tel.: +31 70 30 689 80  
Fax: +31 70 35 899 64  
BARCODE: 13828  
LO: 250 96DE



# RESUME

Des informations recueillies auprès des services chargés de l'hydraulique au sud du Sahara révèlent un fort taux d'abandon des forages à cause des désagréments résultant des fortes teneurs en fer dissous dans les eaux.

Plus de trois (3) ans durant, les techniciens du Centre Régional pour l'Eau Potable et l'Assainissement à faible coût (CREPA) ont travaillé sur la mise en place de techniques simples et peu coûteuses d'élimination du fer dans les eaux souterraines. Ces années de recherche ont porté sur deux (2) types d'installations d'élimination du fer plus connus sous le nom "Unités de déferrisation" : AF (Aération-Filtration) et ADAF (Aération-Décantation-Adsorption-Filtration).

Le corps de l'ouvrage type AF peut être métallique (fût de 200 litres) ou en béton armé. Il est évident que le métallique, au besoin, peut être facilement déplacé d'un forage à un autre. Quant à l'unité ADAF, elle est faite principalement de parpaings pleins.

Au total, six (6) sites de recherche ont été implantés à raison de trois (3) par types d'unité. Hormis le site de Dagnoën (type AF), tous les autres sont dans des villages situés à moins de 10 km de la ville de Ouagadougou, capitale du Burkina Faso.

Les études ont permis de déterminer la granulométrie, la nature ainsi que les hauteurs des différentes couches de matériaux (sable, gravier) pour chaque type d'unité, afin d'obtenir un rendement optimum. Avec ces configurations, les taux d'abattement du fer total atteignent 98%. La temps qui sépare deux (2) lavages consécutifs de l'unité a été estimé à :

- 6 semaines au maximum pour l'unité de déferrisation type "AF",
- de 4 à 6 semaines pour l'unité de déferrisation type "ADAF"

Le temps relativement long dans le cas du type ADAF s'explique par la présence du bassin de décantation qui joue un grand rôle dans l'abattement du fer total.

Les coûts estimatifs de la construction des ouvrages sont:

- 160.000 francs CFA pour l'unité de déferrisation type "AF", soit l'équivalent de \$320 US;
- 200.000 francs CFA pour l'unité de déferrisation type "ADAF", soit l'équivalent de \$400 US;

Le choix de telle ou telle autre unité dépend de la teneur en fer total de l'eau brute. C'est ainsi que l'unité type "AF" est utilisée sur des forages dont la teneur en fer total ne dépasse pas 5 mg/l, tandis que le type "ADAF" est utilisé dans les cas des teneurs très élevées (plus de 10 mg/l).



# ABSTRACT

Data collected from hydraulic departments in many countries in south of Sahara show a high rate of abandoned boreholes because of the high concentrations of iron in water.

Engineers from CREPA (Centre Regional pour l'Eau Potable et l'Assainissement à Faible Coût) worked over 3 years to set up simple and low cost techniques to remove iron from groundwater. These years of research were carried out on 2 types of iron removal system named "Iron Removal Units": AF unit and ADAF unit, respectively "Aération-Filtration" and "Aération-Décantation-Adsorption-Filtration" in French.

The material used to make the AF type unit could be reinforced concrete as well as metal sheet. The advantage of the AF type unit in metal is that it can be moved from one place to another if needed. The ADAF type unit is made of masonry.

The studies were performed on 6 sites (3 sites for each type of unit). All the sites are in rural area in an average distance of 10 km from Ouagadougou city, the capitale of Burkina Faso, except the site of Dagnoen in the centre of the town with an AF type unit.

This research allows us to determine the grain sizes, the nature and the height of the different layers of materials (sand and gravel) for each type of unit, in order to obtain a optimum efficiency. With the configurations set up, the rates of iron removal reach 98%. The period of time between 2 consecutive unit cleansings has been estimated to:

- 4 weeks at the most for the AF type unit;
- 6 to 8 weeks for the ADAF type unit.

The relatively long period of time for the ADAF type unit is due to the presence of the settling basin which plays a very important role in the removal of iron.

The estimated costs of the construction are:

- CFA 160'000 francs (\$320.00 US) for the AF type unit;
- CFA 200'000 francs (\$400.00US) for the ADAF type unit.

The choice to use one unit or another depends on the concentration of iron in groundwater. The results show that for iron concentration lower than 5 mg/l the AF type unit is recommended, whereas for iron concentration higher than 10 mg/l the ADAF type unit should be used.

# TABLE DES MATIERES

	Pages
<i>Chapitre I:</i> INTRODUCTION.....	1
<i>Chapitre II:</i> APERÇU BIBLIOGRAPHIQUE.....	5
II.1) Généralités.....	5
II.2) Etats Naturels du Fer.....	6
II.3) Procédés Courants de Déferrisation .....	7
II.4) Description du Processus de Déferrisation.....	10
<i>Chapitre III:</i> UNITES DE DEFERRISATION EXPERIMENTEES	
PAR LE CREPA.....	15
III.1) Unité de Déferrisation Type "AF".....	15
III.1.1) Description.....	15
III.1.2) Mise en oeuvre .....	19
III.2) Unité de Déferrisation Type "ADAF" .....	20
III.2.1) Description.....	
III.2.1.1) Différentes Composantes de l'Unité ADAF.....	20
III.2.1.1.1) Organes Annexes.....	23
III.2.2) Mise en œuvre.....	27
III.2.2.1) Matériaux de construction.....	27
III.2.2.2) Etapes de la construction.....	28

<b>Chapitre IV: CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX UTILISES</b>	
<b>DANS LE TRAITEMENT DES EAUX.....</b>	<b>35</b>
<b>IV.1) Sable.....</b>	<b>35</b>
<b>IV.2) Gravier Quartz.....</b>	<b>39</b>
<b>IV.3) Gravier Granitique.....</b>	<b>39</b>
<b>IV.4) Gravier Latéritique.....</b>	<b>40</b>
<b>Chapitre V: METHODOLOGIE.....</b>	<b>41</b>
<b>V.1) Mise en Place des Couches de Granulats.....</b>	<b>41</b>
<b>V.2) Echantillonnage.....</b>	<b>42</b>
<b>Chapitre VI: RESULTATS - ANALYSE -.....</b>	<b>47</b>
<b>VI.1) Résultats -.....</b>	<b>47</b>
<b>VI.2) Performance des Unités.....</b>	<b>50</b>
<b>VI.2.1) Unités de déferrisation type ADAF.....</b>	<b>50</b>
<b>VI.2.2) Unité de déferrisation Type AF.....</b>	<b>52</b>
<b>VI.3) Choix du Type d'Unité de Déferrisation.....</b>	<b>55</b>
<b>VI.3.1) Critères de choix.....</b>	<b>55</b>
<b>VI.3.1.1) Critères techniques.....</b>	<b>55</b>
<b>VI.3.1.2) Critères Economiques.....</b>	<b>56</b>
<b>VI.3.2) Comparaison entre les Deux Variantes de</b>	
<b>l'Unité type AF.....</b>	<b>56</b>
<b>VI.3.3) Choix du Type d'Unité .....</b>	<b>58</b>
<b>VI.3.3.1) Choix de l'Unité par Rapport au Temps de</b>	
<b>Fonctionnement .....</b>	<b>59</b>
<b>VI.3.3.2) Choix de l'Unité par Rapport à la Facilité</b>	
<b>d'Appropriation par les Communautés de Base .....</b>	<b>60</b>
<b>VI.3.3.3) Choix de l'Unité par Rapport à la Qualité de l'Eau</b>	
<b>Traitée.....</b>	<b>60</b>

*Chapitre VIII: CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS*.....63

**REFERENCES**

**ANNEXES**

# LISTE DES TABLEAUX

- Tableau 3.1:** Caractéristiques des matériaux nécessaires à la construction de l'unité de déferrisation type ADAF.
- Tableau 4.1:** Caractéristiques des sables utilisés comme matériaux filtrants dans les unités de déferrisation.
- Tableau 5.1:** Quantité d'eau pompée en moyenne par jour.
- Tableau 6.1:** Caractéristiques optimales des couches de matériaux à mettre en place dans le bassin d'adsorption de l'unité de déferrisation type ADAF
- Tableau 6.2:** Caractéristiques optimales des couches de matériaux à mettre en place dans le bassin de filtration de l'unité de déferrisation type ADAF
- Tableau 6.3:** Caractéristiques optimales des couches de matériaux à mettre en place dans une unité de déferrisation type AF fonctionnant de "bas en haut"
- Tableau 6.4:** Caractéristiques optimales des couches de matériaux à mettre en place dans une unité de déferrisation type AF fonctionnant de "haut en bas"
- Tableau 6.5:** Coûts de réalisation des unités de déferrisation
- Tableau 6.6:** résumé du choix de l'unité en fonction de la teneur en fer total de l'eau brute

# LISTE DES FIGURES

- Figure 2.1:** Etats du fer dans l'eau
- Figure 2.2:** Domaine privilégié de la déferrisation biologique
- Figure 2.3** Schéma du processus de décantation verticale
- Figure 3.1:** Vue en plan et coupe du dispositif de déferrisation type AF en métallique
- Figure 3.2 :** Vue en plan d'un dispositif de déferrisation type "AF" en béton armé
- Figure 3.3:** Coupe verticale d'un dispositif de déferrisation type "AF" en béton armé
- Figure 3.4:** Vue d'ensemble d'une unité de déferrisation type "ADAF"
- Figure 3.5:** Vue en plan de l'unité type ADAF
- Figure 3.6:** Coupes AA et BB de l'unité type ADAF
- Figure 3.7:** Schéma d'implantation de l'unité de déferrisation type ADAF
- Figure 3.8:** Tuyau de prise d'eau
- Figure 3.9:** plaque de répartition de l'eau dans le bassin de décantation de l'unité de déferrisation
- Figure 4.1:** Courbe d'évolution de la turbidité
- Figure 5.1:** Evolution journalière de la quantité d'eau pompée
- Figure 6.1:** Evolution de la teneur en fer total à l'entrée du pilote de déferrisation de Balkui-Ecolé entre Avril et Septembre 1991
- Figure 6.2:** Hauteurs pluviométriques enregistrées entre Avril et Septembre 1991





## I

## INTRODUCTION

Au cours des deux dernières décennies marquées par la sécheresse, la maîtrise de l'eau est devenue, pour la majorité des pays africains au sud du Sahara, une composante essentielle de la politique de développement économique et social. Cela s'est traduit entre autres faits, par un essor considérable de l'hydraulique villageoise et pastorale aboutissant à la réalisation de milliers de forages afin de satisfaire les besoins vitaux des populations et du cheptel. Mais pour de nombreux pays, ces efforts n'ont pas toujours abouti aux résultats escomptés à cause de l'apparition d'un phénomène nouveau: l'abandon des forages par les bénéficiaires. Les principales causes de cet abandon massif de ces ouvrages sont: la mise en place des ouvrages sans tenir compte des aspects culturels et socio-économiques, la non implication des populations bénéficiaires dans les différentes phases des projets, le manque d'entretien et de maintenance des ouvrages, et les concentrations en fer élevées des eaux souterraines. Pour ce dernier point, la solution qui consiste à remplacer des colonnes de refoulement et des tringles de pompes en acier galvanisé par l'acier inoxydable serait très coûteuse pour les communautés villageoises et les populations démunies. Par exemple: le coût d'une opération de renouvellement des colonnes en acier galvanisé par les tuyaux PVC revient à 11 000 francs CFA/mètre, soit \$22 US/mètre (solution proposée dans certaines régions du Mali où plus de 500 forages ont été abandonnés par les populations). Aussi, la solution proposée ne résout-elle pas totalement le problème au cas où la présence du fer est d'origine géologique.

Face à cette situation, à la demande du programme PNUD/Banque Mondiale et le Groupe Régional pour l'Eau et l'Assainissement (GREA), le Centre Régional pour l'Eau Potable et l'Assainissement à faible coût (CREPA) a conduit, pendant quatre années, un programme de recherche dans le but d'identifier et d'adapter des techniques simples de déferrisation peu coûteuses pour les communautés villageoises. Cette recherche s'inscrit dans le cadre de la stratégie adoptée par le CREPA pour le développement et la promotion des technologies appropriées d'Alimentation en Eau Potable et d'Assainissement (AEPA). Cette stratégie s'articule autour des objectifs globaux suivants :

- entreprendre la recherche pour rendre acceptable le rapport coût/efficacité dans l'exécution des projets;
- promouvoir la dissémination des informations relatives aux technologies à faible coût;
- stimuler la participation communautaire afin d'impliquer davantage les populations bénéficiaires aux différentes étapes du projet;
- réaliser des ouvrages dont la construction, l'entretien et la maintenance peuvent être effectuées facilement par les populations.

Selon la stratégie du CREPA, la recherche devait permettre d'atteindre les objectifs spécifiques suivants:

- évaluation et comparaison de l'efficacité des différents matériaux filtrants utilisés pour le traitement de l'eau;
- détermination des épaisseurs optima des différentes couches filtrantes qui assurent un fonctionnement efficace;

- identification des matériaux locaux peu coûteux, qui peuvent être utilisés comme couches filtrantes;
- détermination des domaines d'application de chaque type d'unité de déferrisation en fonction des teneurs en fer;
- détermination des avantages et exigences relatifs à l'utilisation de chaque unité de déferrisation;
- élaboration de méthodes d'exploitation et d'entretien et de maintenance efficaces et facilement réalisables par les usagers;
- vulgarisation de la technologie.

Deux procédés d'élimination du fer excluant toute utilisation de produits chimiques (hormis l'eau de Javel utilisée pour désinfecter les matériaux lors du lavage de l'unité) ont été expérimentés dans les zones périurbaines et rurales de Ouagadougou (Burkina Faso) et de Bamako (Mali). Ces installations de traitement dénommées "Unités de déferrisation" ou "Pilotes de déferrisation" sont classées en deux catégories selon leur principe de fonctionnement:

- unité type AF (Aération-Filtration),
- unité type ADAF (Aération-Décantation-Adsorption-Filtration).

Ce document, fruit de quatre années de recherche, présente un aperçu bibliographique en matière de procédés d'élimination du fer dans les eaux, la méthodologie qui a été adoptée au cours de cette recherche, les résultats obtenus, ainsi que les conclusions et recommandations auxquelles nous avons abouti.



## II

# APERÇU BIBLIOGRAPHIQUE

### II.1) GENERALITES

Le fer et le manganèse sont souvent associés dans les eaux souterraines (*Dégremont, tome 2, 1989*). Leur présence dans l'eau de boisson a été retenue dans la grille de qualité des eaux potables en raison des inconvénients qu'ils entraînent au niveau de la distribution. Le fer est souvent à l'origine, indirectement, de certaines maladies hydriques. En effet, sa présence excessive explique aussi l'abandon des sources d'eau par les populations au profit des eaux de surface souvent polluées et contenant des germes pathogènes.

Aux pH qui sont généralement égaux à ceux des eaux de boisson, les sels ferreux sont instables et précipitent sous forme d'hydroxyde ferrique qui forme un limon de couleur rouille. Souvent désagréable au goût, une eau ainsi polluée tâche le linge et les accessoires de plomberie. Dans les réseaux de distribution, les dépôts réduisent progressivement le débit et facilitent la prolifération des ferro-bactéries. Dans les canalisations, ces micro-organismes déposent un revêtement visqueux qui neutralise les désinfectants (*HGGE,1990*). Quant au manganèse, il donne également un goût désagréable aux boissons, tâche la lessive et les appareils sanitaires. A l'intérieur des canalisations, même à des concentrations très faibles (0,02 mg/l), le manganèse crée un dépôt susceptible de se décoller. Il facilite aussi la prolifération de certains micro-organismes qui sont à l'origine de problèmes de saveur, d'odeur et de turbidité de l'eau dans les lieux de distribution publique (*HGGE,1990*).

Le fer est l'un des éléments les plus abondants dans le sol (R. Desjardins, 1988). Dans les eaux souterraines, le fer est généralement en concentration plus élevée que le manganèse auquel il est souvent associé. La nature géologique du terrain a une influence déterminante sur la composition chimique de l'eau. L'eau souterraine étant en perpétuel contact avec le sol, il s'établit alors un équilibre entre la composition du terrain et celle de l'eau (Dégrement, tome 1, 1989). C'est à cause de tous les inconvénients liés à la présence excessive du fer dans certaines eaux que le Ministère de la Santé et du Bien-être social du Canada, l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) et l'institution "Environmental Protection Agency" (EPA) des Etats Unis recommandent des concentrations maximales de 0,3 mg/l (R. Desjardins, 1988).

## II.2) ETATS NATURELS DU FER

Le fer est présent dans la plupart des sols sous forme de minéraux. Sa solubilisation est à l'origine des concentrations élevées dans les eaux. Pour définir une déferrisation efficace, il faut connaître la teneur totale en fer, mais aussi les différentes formes sous lesquelles cet élément est susceptible de se présenter (Fig. 2.1).

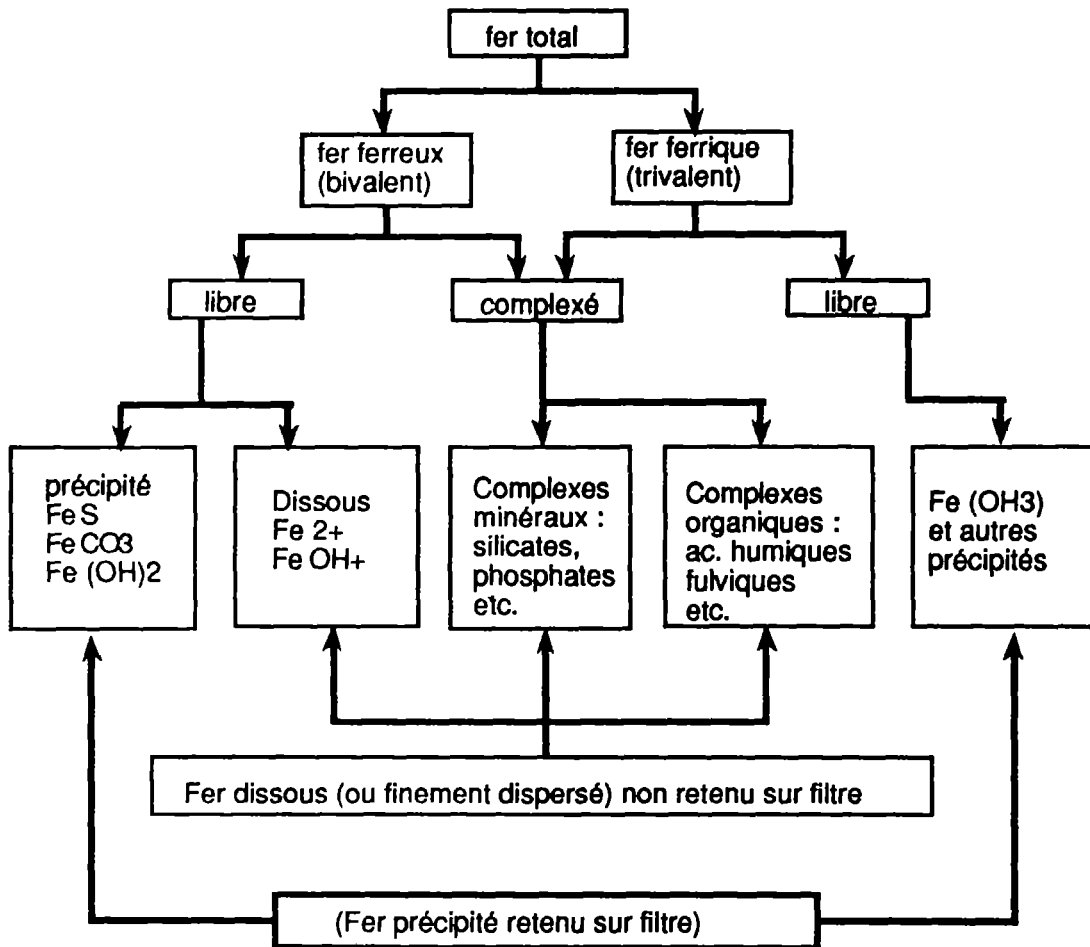


Fig. 2.1: États du fer dans l'eau (Degrémont, Tome 2, 1989)

### II.3) PROCÉDES COURANTS DE DEFERRISATION

Le fer peut être éliminé soit biologiquement, soit à partir d'un traitement physico-chimique. Les principes de base de la déferrisation physico-chimique sont l'oxydation et l'aération. Pendant longtemps, cette technique a été la plus courante, surtout pour les eaux de forage. Ce type de traitement commence toujours par l'oxydation qui est une étape indispensable, permettant de faire passer le fer de l'état ferreux ( $\text{Fe}^{2+}$ ) plus

stable à l'état ferrique ( $\text{Fe}^{3+}$ ) moins stable. Pour cela, plusieurs procédés d'oxydation sont employés (R. Desjardins, 1988):

- l'oxydation par l'oxygène;
- l'oxydation par le chlore;
- l'oxydation par le permanganate de potassium;
- l'oxydation par le dioxyde de chlore;
- l'oxydation par l'ozone.

Les procédés courants physico-chimiques de déferrisation peuvent être classés en quatre catégories:

- **Déferrisation simple sans décantation:** elle repose sur l'aération simple et la filtration. Ce procédé est appelé Aération-Filtration (AF);
- **Déferrisation avec décantation:** il est toujours nécessaire d'intercaler un processus de décantation entre l'aération et la filtration surtout lorsque l'eau brute contient des teneurs élevées en fer. Cela conduit à la production d'une quantité élevée de précipité (après oxydation), pouvant entraîner le colmatage rapide du filtre.

Ce procédé est également conseillé lorsque l'on est en présence de couleur, de turbidité, d'acides humiques, d'agents complexants, etc., provoquant une diminution importante de la cinétique d'oxydation et de précipitation du fer (Dégrement, tome 2, 1989).

- **Traitement associé à une décarbonation:** plus l'installation de décarbonation (GYRAZUR, RATINGEN, etc.) procure un traitement satisfaisant, plus elle est favorable à l'élimination du fer (Dégrement, tome 2, 1989). Les procédés utilisés sont générateurs de pH élevé qui est l'un des facteurs les plus importants dans la déferrisation.



- **Déferrisation biologique:** La déferrisation biologique se fait avec des installations qui peuvent fonctionner sans pression (c'est le cas des installations de VILLERMAIN à Loir-et-Cher et de SABLENS-DE-GUITIES à Gironde) ou de façon gravitaire comme celle de Lomé au Togo (*Dégremont, tome 2, 1989*). Les débits de traitement peuvent varier de plusieurs dizaines à plusieurs milliers de m<sup>3</sup>/h. Cette technique exploite les capacités déferrisantes de nombreuses bactéries qui sont susceptibles d'oxyder biologiquement le fer, en le fixant. La plupart d'entre elles peuvent se développer dans des conditions où l'oxydation physico-chimique du fer n'est pas possible. La figure 2.2 ci-dessous présente les domaines privilégiés de la déferrisation biologique.

La technique présente les avantages suivants: oxydation rapide à travers une injection d'air sous pression dans certains cas, les réactifs de correction du pH et les flocculants ne sont pas nécessaires, la capacité de rétention du fer devient élevée de même que la vitesse de filtration. Dans ces installations, il en résulte une capacité de rétention du filtre environ cinq fois plus importante et le pourcentage d'eau de lavage des filtres est à peu près cinq fois plus faible que dans le cas de la déferrisation physico-chimique (*Dégremont, tome 2, 1989*).

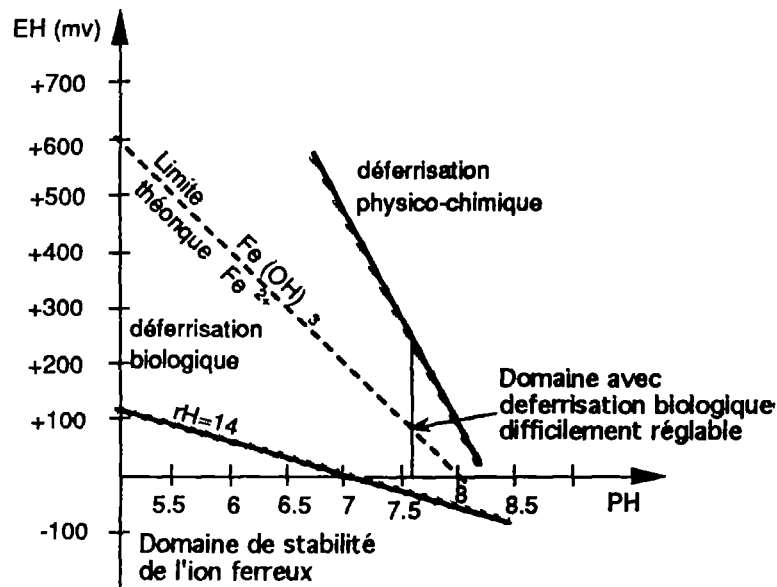


Fig. 2.2: *Domaine privilégié de la déferrisation biologique*

(Dégremont, tome 2, 1989)

Parmi les différents procédés de déferrisation énoncés précédemment, seulement deux ont été expérimentés au CREPA. Il s'agit de:

- *Aération-Filtration (AF)* qui est un procédé de déferrisation sans décantation;
- *Aération-Décantation-Adsorption-Filtration (ADAF)* qui n'est autre qu'une modification du premier, en intercalant les processus de *décantation* et d'*adsorption* entre l'aération et la filtration.

#### II.4) DESCRIPTION DU PROCESSUS DE DEFERRISATION

Le principe de fonctionnement des unités de déferrisation repose essentiellement sur les propriétés chimiques du fer dans l'eau d'une part et

d'autre part, sur les caractéristiques physiques des granulats utilisés pour le traitement.

Il faut remarquer que le fonctionnement des unités expérimentées au CREPA ne nécessite pas l'utilisation de réactifs chimiques pendant le processus de traitement. Les deux unités ont deux étapes en commun: l'aération et la filtration.

L'aération constitue le premier stade du traitement. Elle est basée sur l'oxydation du fer divalent par l'oxygène de l'air. La présence du gravier quartz grossier dans la zone d'aération de l'unité type "AF" par exemple, a pour but d'allonger le trajet des filets liquides et par conséquent d'augmenter le temps de brassage de l'eau par l'air.

L'aération qui consiste à dissoudre l'oxygène de l'air dans l'eau s'effectue à la pression atmosphérique. Ce procédé a l'avantage d'évacuer à moindre frais le gaz carbonique agressif dont l'enlèvement nécessite un traitement coûteux lorsque sa teneur est élevée. L'aération permet aussi l'élimination de l'hydrogène sulfureux ( $H_2S$ ). La rapidité de l'oxydation du fer divalent par l'oxygène dépend de plusieurs facteurs dont la température, le potentiel oxydoréduction, le pH, la teneur en fer et en oxygène dissous (Dégremont, tome 2, 1989). Le passage d'une forme dissoute de fer (par exemple  $Fe^{2+}$  ou  $FeOH^+$ ) à une forme précipitée ( qui est  $Fe_2(CO_3)_3$  ou  $Fe(OH)_3$  ) peut se faire en élevant soit le potentiel par oxydation, soit le pH, ou encore les deux à la fois.

Le processus de déferrisation s'achève par la filtration. C'est un procédé de séparation physique utilisant le passage d'un mélange solide-liquide à travers un milieu poreux (filtre) qui retient les particules solides et laisse passer le liquide (filtrat). Cela entraîne la formation d'un dépôt de solides à la surface et à l'intérieur du filtre selon les caractéristiques granulométriques du matériau filtrant, la grosseur et la cohésion des solides

en suspension. Ces dépôts favorisent le colmatage du filtre nécessitant ainsi un nettoyage plus ou moins fréquent.

Entre l'aération et la filtration, se déroulent deux autres procédés essentiels dans le processus physico-chimique d'élimination du fer dans l'eau. Il s'agit de la *décantation* et de l'*adsorption*. La *décantation* précède l'*adsorption* mais suit l'aération. Cette disposition est toujours nécessaire lorsque la teneur en fer de l'eau brute est élevée. L'aération de l'eau brute chargée en fer produit un volume important de précipité, tout comme lorsque le traitement de l'eau implique l'adjonction de coagulants. Seule l'unité de déferrisation type "ADAF" expérimentées par le CREPA comporte un bassin de décantation à l'intérieur duquel se produit non pas une décantation en piston (généralement observée par des concentrations élevées des floes qui créent une interface nettement marquée entre la masse boueuse et le liquide surnageant), mais plutôt une décantation diffuse qui se traduit par une augmentation de la vitesse de chute au fur et à mesure que les dimensions des floes s'accroissent en contact d'autres particules (Fig. 2.3). C'est sur ces principes que sont fondés les différents procédés physico-chimiques de déferrisation.

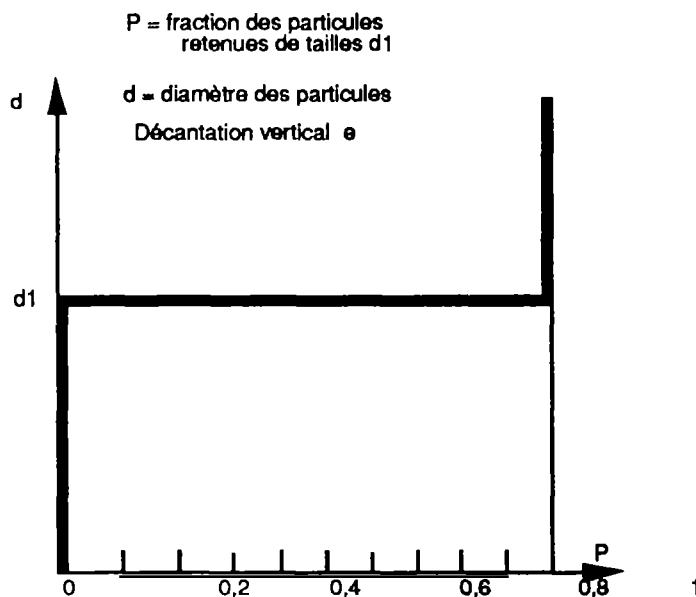


Fig. 2.3 Schéma du processus de décantation verticale  
 (Dégremont, tome 1, 1989)

Il apparaît sur la figure ci-dessus que tous les flocons ayant un diamètre supérieur ou égal à  $d_1$  seront décantés. Pendant tout le processus de décantation, la floculation se poursuit et la vitesse de sédimentation des particules augmente. Il est important de noter ici que la zone de dépôt des particules décantée va du fond du bassin de décantation à la base du bassin d'adsorption. Le parcours ascendant que l'eau décantée entame à l'entrée du bassin d'adsorption favorise le dépôt des flocons du fait que leur densité est supérieure à celle de l'eau.



### III

## UNITES DE DEFERRISATION EXPERIMENTEES PAR LE CREPA

### III.1) UNITE DE DEFERRISATION TYPE "AF"

#### III.1.1) Description

L'unité de déferrisation type "AF", comporte deux principales parties: une zone d'aération et une de filtration . Le corps de l'unité peut être métallique (Fig. 3.1) ou en béton armé (Fig. 3.3). La variante en béton armé a l'inconvénient d'avoir un coût de construction élevé. L'unité métallique présente des avantages suivants:

- coût de construction moins élevé;
- facilité d'exécution;
- possibilité de déplacer facilement l'unité d'un site à un autre;
- entretien et maintenance plus faciles (les éléments constitutifs de l'unité sont démontables);
- possibilité de doter l'unité de deux principes de fonctionnement (fonctionnement de "haut en bas" ou de "bas en haut" selon le sens de l'écoulement de l'eau dans l'ouvrage).

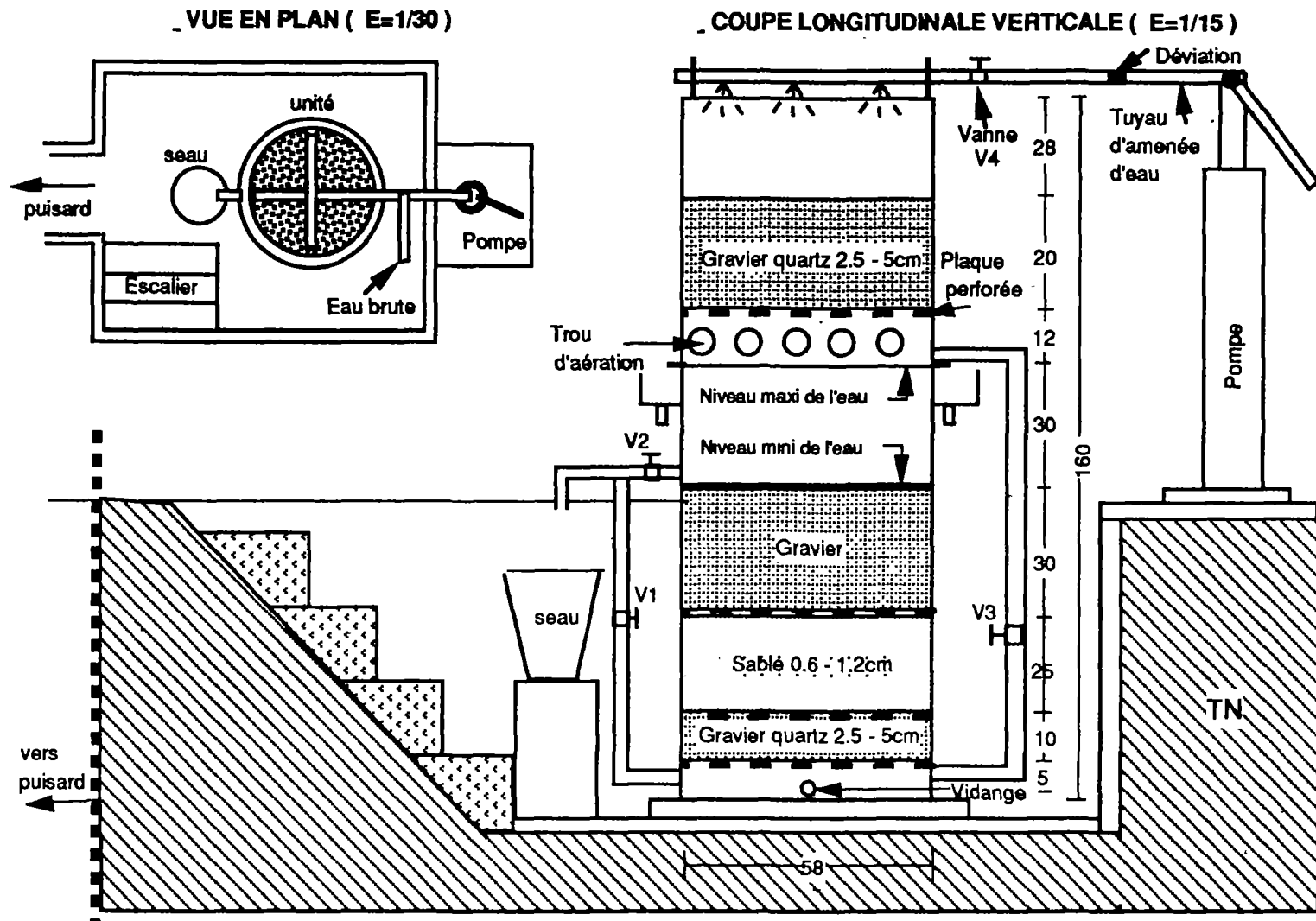


Fig. 3.1 Vue en plan et coupe du dispositif de déferrisation type "AF" métallique



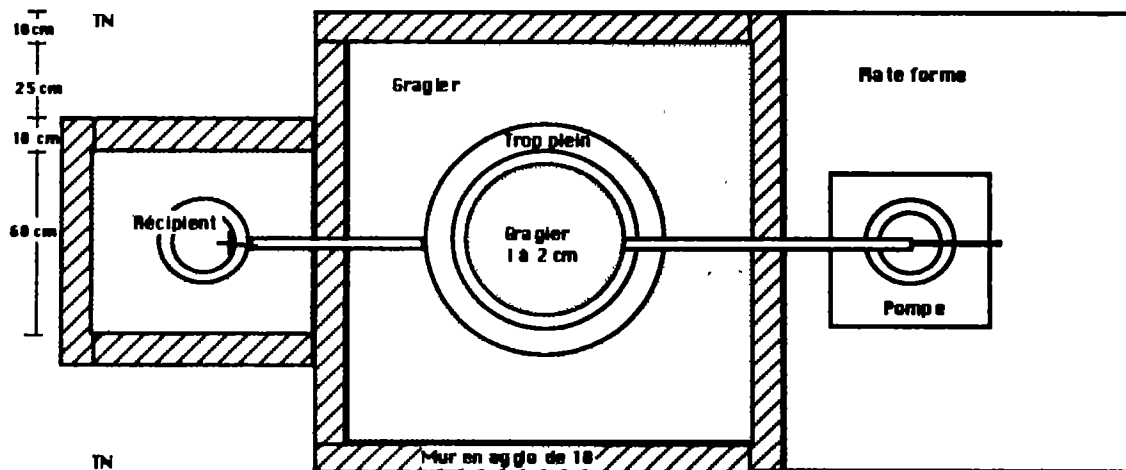


Fig. 3.2 : Vue en plan d'un dispositif de déferrisation type "AF" en béton armé

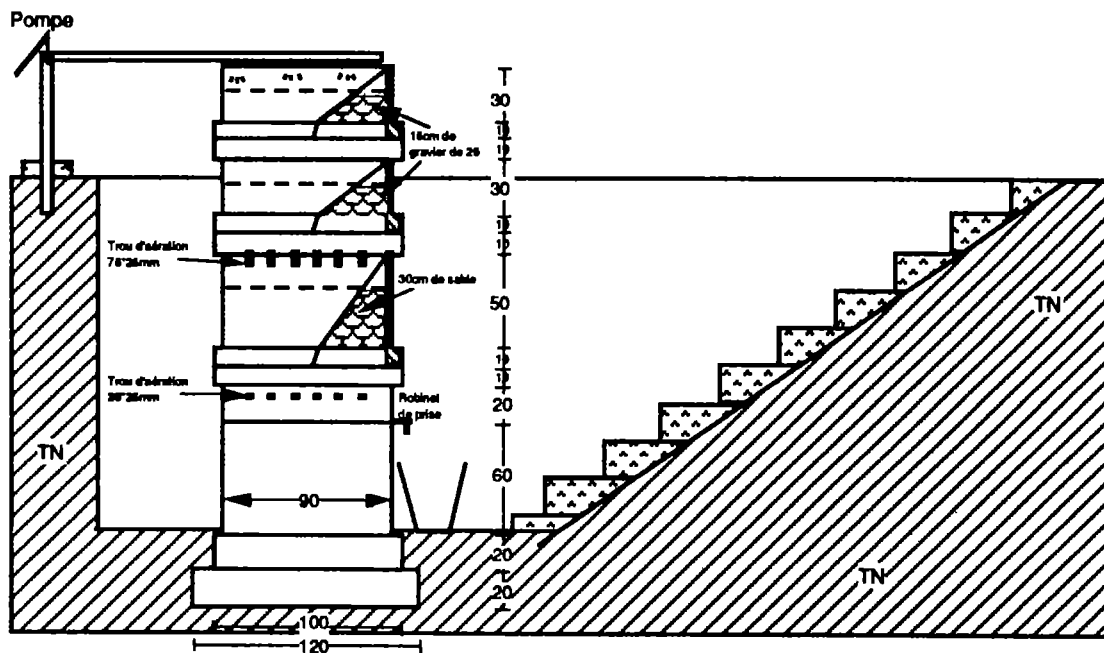


Fig. 3.3: Coupe verticale d'un dispositif de déferrisation type "AF" en béton armé

Lorsque le corps de l'ouvrage est métallique, l'unité de déferrisation type "AF" comporte les éléments suivants:

- une *conduite d'alimentation* connectée à l'exhaure de la pompe du forage. La conduite d'alimentation est munie à son extrémité d'un système de perforation assurant une répartition uniforme de l'eau en fines gouttelettes sur toute la surface de la zone d'aération.

- un *fût d'une hauteur de 60 cm* contenant du gravier quartz grossier de granulométrie comprise entre 2,5 et 5 cm sur une épaisseur de 20 cm. Cette couche de gravier repose sur un grillage métallique en dessous duquel se trouvent des trous d'aération de 5 cm de diamètre perforés sur les parois du fût et espacés de 10 cm pour permettre la circulation de l'air. Le brassage des filets liquides contribue à leur aération. Ceci constitue en fait la zone d'aération de l'unité de déferrisation type AF. Le fond de ce fût peut être fermé ou ouvert selon que la filtration se fait de bas en haut ou inversement.

- un *second fût de 120 cm de haut* se situe juste en dessous du premier décrit ci-dessus. Il contient les granulats qui constituent la structure filtrante composée de graviers et de sable. L'ensemble repose sur du gravier quartz grossier identique à celui contenu dans le premier fût d'en haut et servant de matériaux filtrants, le tout supporté par un grillage identique à celui du premier fût. La succession des couches composant cette structure filtrante est fonction du sens d'écoulement de l'eau qui se fait des éléments plus grossiers vers les plus fins. Les différentes couches sont séparées les unes des autres par du grillage en polyéthylène qui les empêche de se mélanger lors du fonctionnement. Le fût comporte à sa base trois trous de vidange de 3 cm de diamètre chacun, équidistants et fermés par des bouchons.

- une *canalisation en tube galvanisé* relie les deux fûts par un système de raccordement facilitant le démontage et le remontage de l'unité selon le mode de fonctionnement souhaité (filtration de bas en haut ou vice versa).
- des *bouchons de fixation* permettent de rendre solidaires les deux fûts lors de la mise en marche de l'unité.
- une *conduite de prise d'eau* également en tube galvanisé permet de recueillir l'eau traitée.
- une *série de vannes* en position ouverte ou fermée selon le mode de fonctionnement. Ainsi, on ferme la vanne V1 et ouvre la vanne V2 lorsque la filtration se fait de bas en haut et inversement lorsqu'elle se fait de haut en bas.
- enfin, une *conduite de déviation* en début de la conduite d'alimentation de l'unité permet de prélever directement l'eau brute lorsque le dispositif ne fonctionne pas pour une raison ou une autre.

### III.1.2) Mise en oeuvre

L'unité en béton armé a la particularité d'être résistante et moins exigeante en matière de maintenance de ses accessoires. Quant à l'unité en métal, elle est moins coûteuse et amovible. A cause du coût élevé de l'unité en béton armé, sa confection a été abandonnée au profit de celle en métal en faisant recours aux services d'un soudeur et d'un plombier sanitaire.

Deux éléments principaux constituent l'ouvrage (cf. Fig. 3.1):

1\_ *zone d'aération*: il s'agit d'un demi fût de 100 litres dont les caractéristiques sont données dans la description de l'unité type AF. Lorsque

l'unité fonctionne de "haut en bas", la base du fût est ouverte et l'eau aérée retombe directement sur la surface de la 1<sup>ère</sup> couche de gravier contenu dans le second fût. Par contre lorsqu'elle fonctionne de "bas en haut", la base du 1<sup>er</sup> fût est fermé et l'eau aérée est canalisée par une conduite vers la base du second fût.

**2\_ zone de filtration:** elle est constituée d'un fût de 200 litres.

Ces deux zones sont reliées entre elles par un système d'assemblage et d'accessoires formés de tuyaux, de vannes et autres éléments de plomberie.

### **III.2) UNITE DE DEFERRISATION TYPE "ADAF"**

#### **III.2.1) Description**

Comme son nom l'indique, ce dispositif de déferrisation intègre quatre étapes de traitement qui sont: l'Aération, la Décantation, l'Adsorption et la Filtration, d'où l'appellation d'unité type "ADAF". Ces procédés ont lieu dans des zones réparties entre la superstructure essentiellement en maçonnerie et les compartiments annexes. La figure 3.4 ci-dessous présente une vue en perspective de l'unité de déferrisation type ADAF.

##### **III.2.1.1) Différentes Composantes de l'Unité ADAF**

L'unité de déferrisation type ADAF comporte les composantes suivantes (Fig. 3.4):

- le *canal d'alimentation*: il est fait de tôle perforée sur toute sa surface latérale afin de favoriser une aération efficace de l'eau brute. Il repose d'un côté sur le tuyau d'exhaure de la pompe qui l'alimente et de l'autre côté, il s'emboîte dans le couvercle du bassin de décantation à l'aide d'un tuyau de 5 cm de long et de 5 cm de diamètre. Il est muni d'un couvercle en tôle perforée qui assure une certaine aération d'une part,

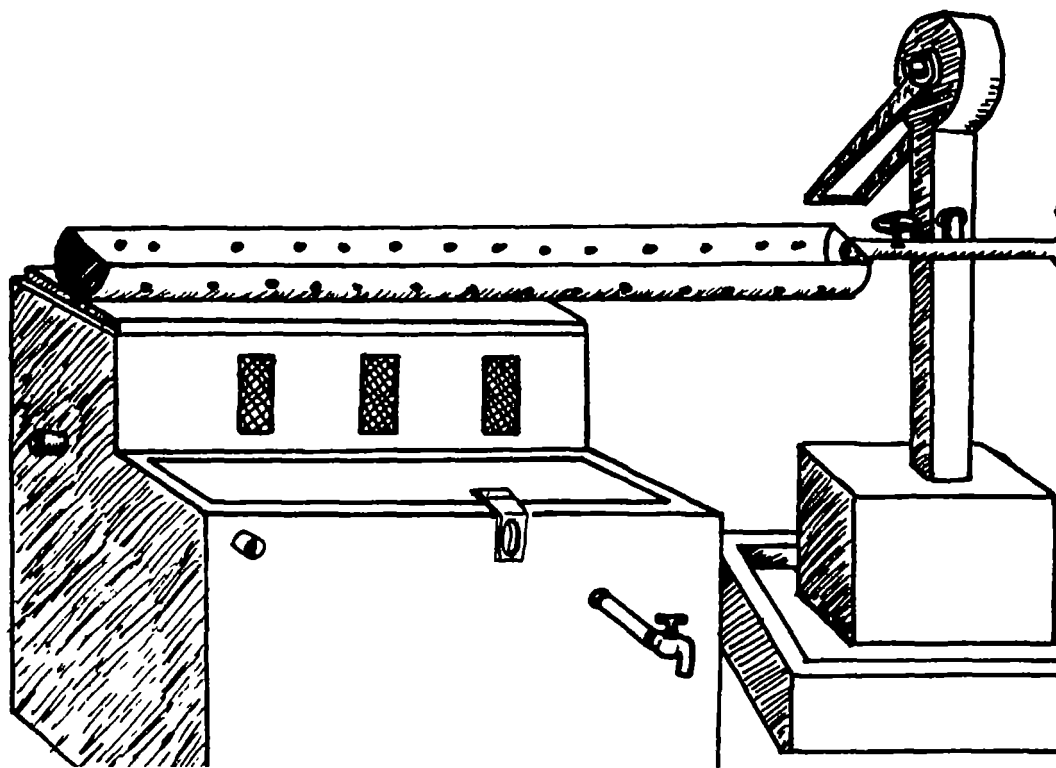


Fig. 3.4: Vue d'ensemble d'une unité de déferrisation type "ADAF"

et protège le canal contre l'intrusion d'éléments extérieurs qui pourraient contaminer l'eau;

- le *bassin de décantation*: de forme rectangulaire, il est long de 90 cm et large de 20 cm, avec une profondeur totale de 1,00 m. Il comporte à sa partie supérieure des trous d'aération de forme rectangulaire de dimensions 10 x 20 cm régulièrement espacés sur sa longueur. Il est muni d'un tuyau de vidange de 26 mm de diamètre intérieur placé à sa base. Ce tuyau est implanté sur la largeur du bassin, et fermé à l'aide d'un bouchon. Le bassin est muni à sa partie supérieure d'un tuyau de trop plein;

- le *bassin d'adsorption*: de forme carrée, il a une profondeur de 70 cm et des dimensions intérieures de 50 x 50 cm. Le fond de ce bassin se situe à 10 cm au dessus de celui du bassin de décantation. Les deux bassins communiquent par tuyaux (au nombre de trois) de 20 mm de diamètre intérieur chacun, encastrés à la base du mur séparant le bassin d'adsorption du bassin de décantation. Il contient une succession de couches de graviers de granulométrie variable servant de matériaux d'adsorption d'où le nom donné au bassin. Les différentes couches sont séparées par un grillage en polyéthylène;

- le *bassin de filtration*: de forme rectangulaire, il est long de 50 cm et large de 30 cm avec une profondeur de 80 cm. L'arase supérieure du mur qui le sépare du bassin d'adsorption a la forme d'un déversoir orienté vers le bassin de filtration. Le bassin de filtration est muni à sa base d'un tuyau de vidange identique à celui du bassin de décantation et placé du même côté. Il contient une couche de gravier quartz grossier de granulométrie comprise entre 2,5 et 5 cm dans laquelle plonge l'extrémité du tuyau de prise d'eau. Sur ce gravier repose une couche de sable de granulométrie comprise entre 0,8 et 2 mm servant de couche de filtration par excellence. Un tuyau de trop plein est placé sur l'une des parois du bassin vers l'extérieur à 10 cm au dessus du niveau du déversoir.

### III.2.1.1) Organes Annexes

- *tuyau d'alimentation de l'unité*: reliant la pompe au canal d'alimentation de l'unité, il a le même diamètre que le tuyau de prise. Il est muni d'une vanne de réglage. Une conduite parallèle permet de prélever directement l'eau brute;

- *plate forme de répartition*: placée sous le couvercle du bassin de décantation et juste au dessus des trous d'aération, elle a une longueur de 85 cm, une largeur de 15 cm et une épaisseur de 5 cm. De petits trous de 5 mm de diamètre sont aménagés sur toute sa surface. En même temps qu'elle favorise l'aération de l'eau, elle assure sa répartition uniforme dans tout le bassin de décantation;

- *tuyau d'exhaure*: tube galvanisé de 33 x 40 mm qui émerge à 40 cm du fond du bassin de filtration, son extrémité inférieure plonge dans la couche de gravier à 5 cm du fond. La couche de gravier sert à la fois de matériau filtrant et de support à la couche de sable dont les particules ne doivent pas être admises dans l'eau traitée;

- *puisard*: de diamètre minimum de 1 m, il recueille toutes les eaux provenant de l'unité (eaux de vidange, eaux de nettoyage, eaux traitées perdues, etc.). Il est rempli de moellons.

Les figures 3.5 et 3.6 ci-dessous présentent les détails des différents éléments constitutifs de l'unité de déferrisation type ADAF.

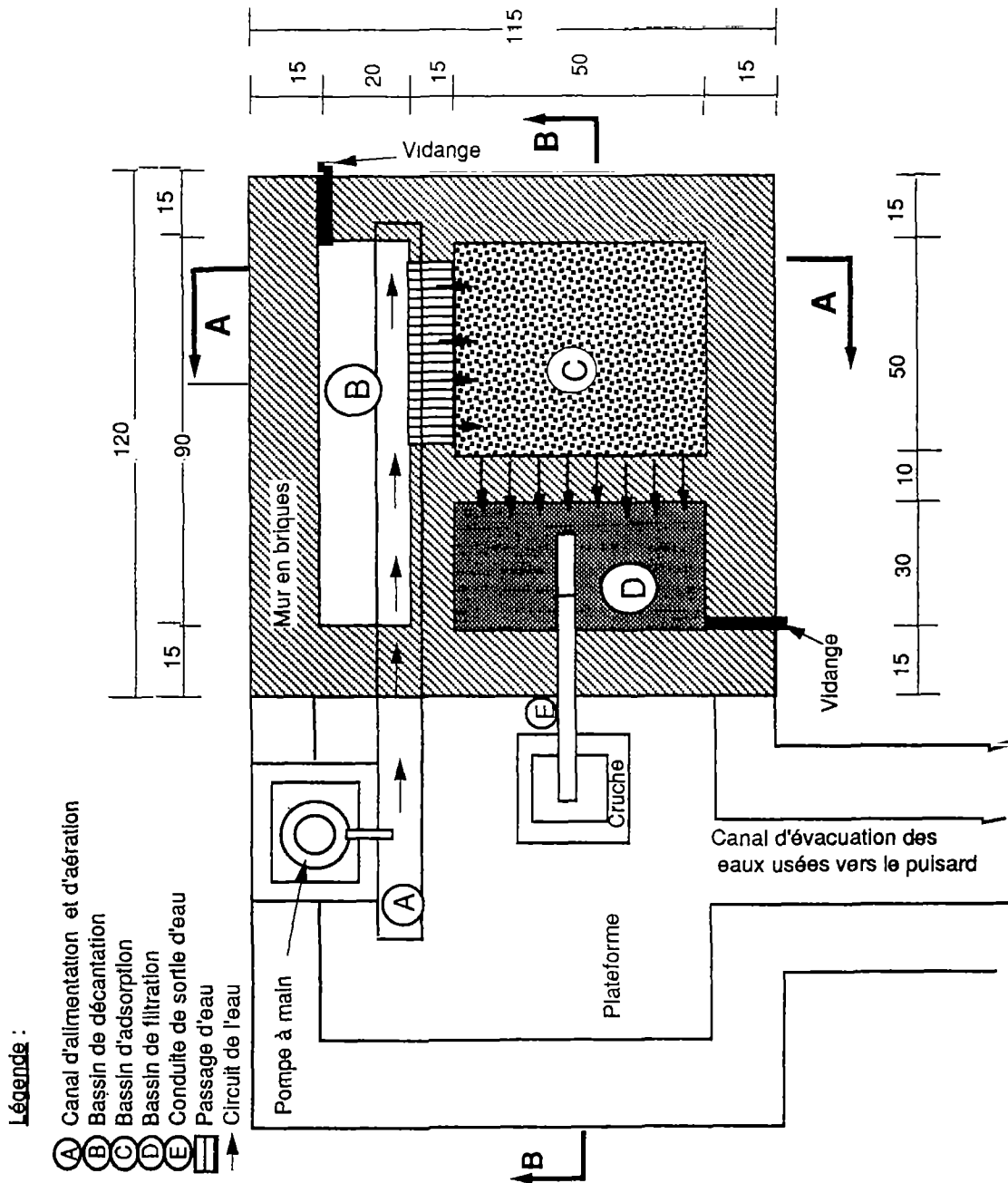


Fig. 3.5: Vue en plan de l'unité type ADAF



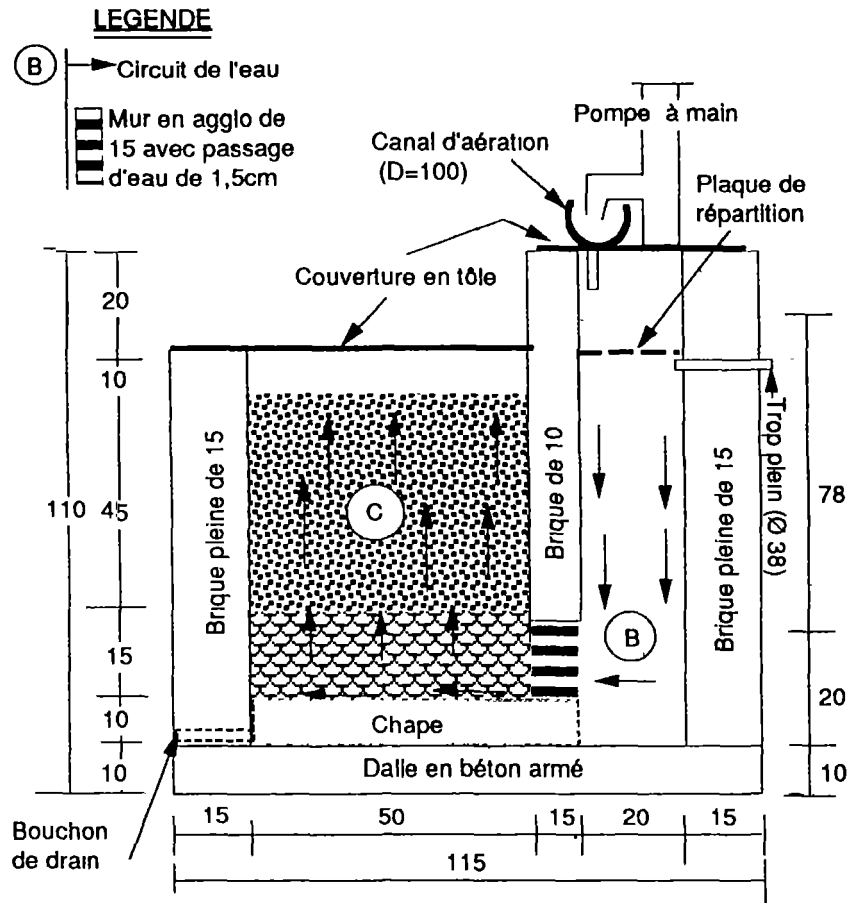


Fig. 3.6a: Coupe AA de l'unité type ADAF

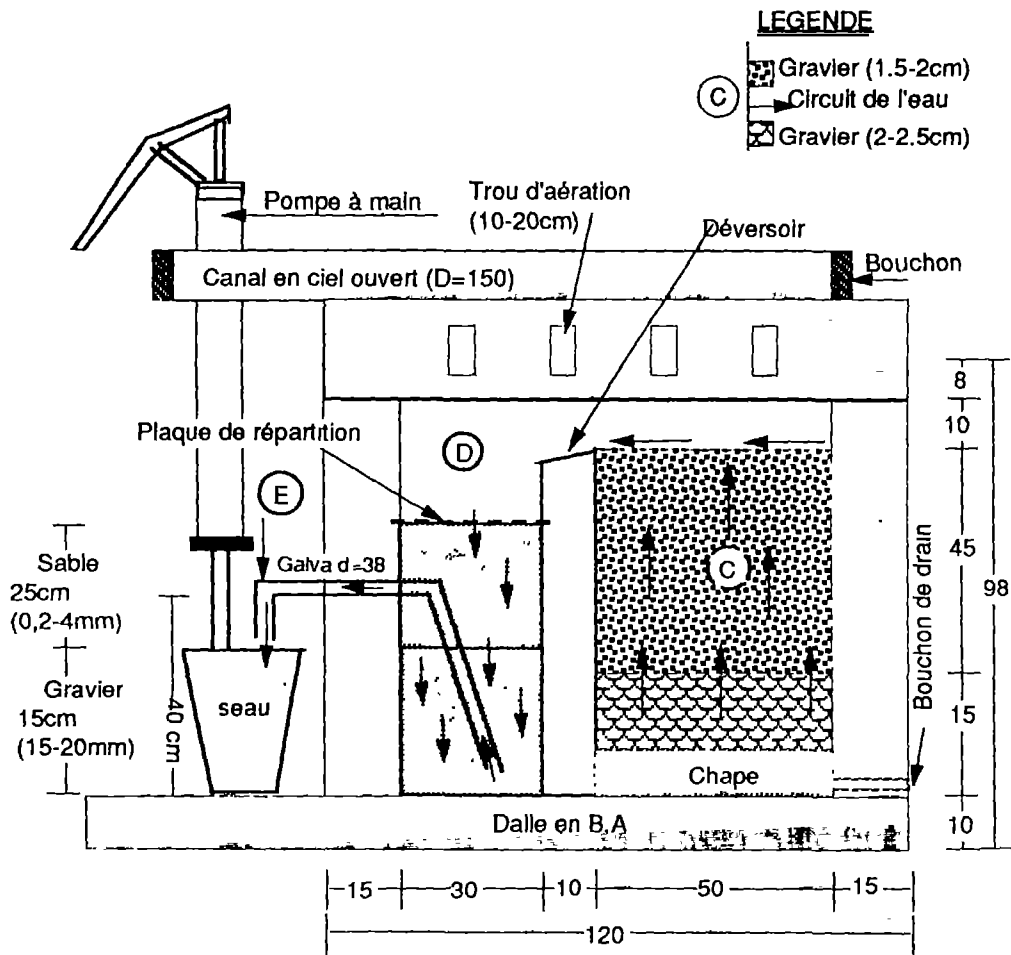


Fig. 3.6b: Coupe BB de l'unité type ADAF

## III.2.2) Mise en œuvre

## III.2.2.1) Matériaux de construction

Le tableau 3.1 ci-dessous donne la nature, les dimensions et les quantités des différents matériaux nécessaires à la construction de l'unité de déferrisation.

*Tableau 3.1: Caractéristiques des matériaux nécessaires à la construction de l'unité de déferrisation type ADAF.*

Nature	Dimensions	Quantité
ciment	-	5 sacs
sable	moyen	4 charrettes (16 brouettes)
gravillon	-	1 charrette (4 brouettes)
tube galvanisé	33 x 40 mm	2 m
grillage en fer de petites mailles	1.00 x 0.50 m	1
grillage en polyéthylène de petites mailles	2.00 x 1.00 m	1
pointes en acier	6 cm	15
vannes	26 x 33 mm	3
Té	26	1
coude	26	4
mamelons ou manchons	26	4
bouchons en PVC	33	2
couvercle en tôle noire et cadre	91x 51 cm	1
plate-forme en tôle noire perforée sur toute sa surface (5 mm diamètre de perforation)	85 x 15 cm	1
feuille en tôle noire de 2 à 3 mm d'épaisseur, perforée sur sa surface (diamètre de perforation: 2 mm)	45 x 25 cm	1
fer rond	6 mm	2 barres
canal d'alimentation en tôle noire de 2 mm d'épaisseur	1.20 x 0.20 m	1

### III.2.2.2) Etapes de la construction

- **Implantation**

Cette première étape consiste à tracer un carré de 1.30 x 1.30 m sur le sol à environ 10 cm de la fondation supportant la pompe et à cheval sur l'axe du tuyau d'exhaure de celle-ci, comme le montre la figure 3.7 ci-dessous.

La profondeur H des fouilles est fonction de la hauteur Z du tuyau d'exhaure de la pompe par rapport au sol. Elle est donnée par la formule suivante:

$$H = 1.40 - Z$$

où H et Z sont exprimées en mètres.

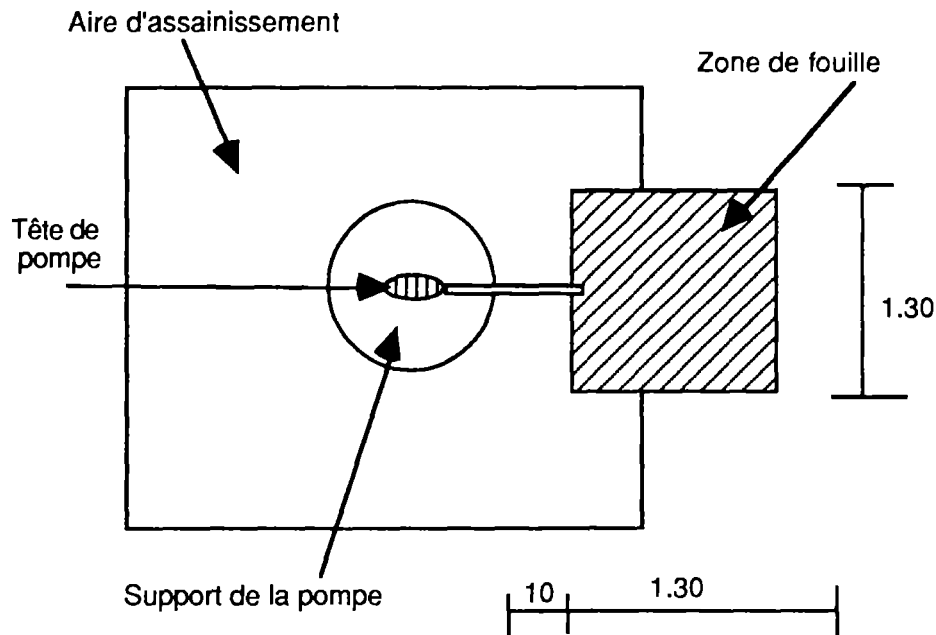


Fig. 3.7: Schéma d'implantation de l'unité de déferrisation type ADAF

#### • Préparation des accessoires de l'unité

L'unité comporte un certain nombre d'accessoires qu'il est nécessaire d'avoir à disposition avant d'entreprendre les travaux de construction proprement dits. Il s'agit de:

- *tuyaux de jonction des bassins de décantation et d'adsorption*: au nombre de 3, ces tubes de 20 mm de diamètre intérieur et de 15 cm de long (épaisseur des parpaings) assurent l'écoulement de l'eau décantée du bassin de décantation au bassin d'adsorption;
- *tuyaux de trop plein*: au nombre de 2, ils sont identiques à ceux qui assurent la jonction des bassins d'adsorption et de décantation;

- *tuyaux de vidange*: au nombre de 2 et longs de 30 cm chacun, ils sont en tube galvanisé de 33 x 40 mm. Ils sont recourbés en un coude;
- *tuyau de prise d'eau traitée et robinet de puisage* (figure 3.8).

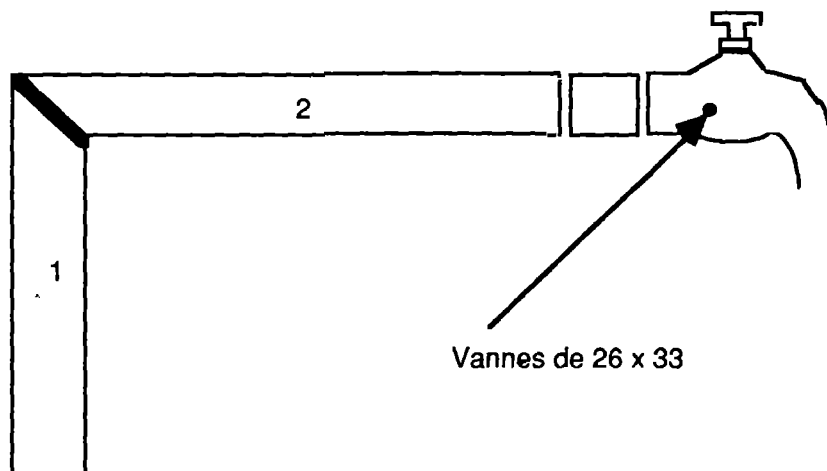


Fig. 3.8: Tuyau de prise d'eau

Les éléments 1 et 2, respectivement longs de 30 et 50 cm, sont en tube galvanisé de 33 mm x 40 mm. Leur assemblage se fait soit par soudure, soit à l'aide d'un coude de 40.

- *armature de la fondation*: c'est un quadrillage de 1.30 m x 1.30 m qui est confectionné à l'aide de barres de fer rond (fer TOR de 6 mm de diamètre). L'espacement des barres est de 20 cm.

#### • Construction de la fondation

Il s'agit du béton de support de l'unité. Dosé à 250 kg/m<sup>3</sup> (correspondant à 1 volume de ciment pour 2 volumes de sable et 4 volumes

de gravier), ce béton est coulé sur une épaisseur de 10 cm. Les tuyaux de vidange sont noyés dans le béton. Vingt quatre heures après le coulage, on trace l'emplacement des bassins de l'unité.

- **Construction des parois**

Seul le mur de séparation des bassins de filtration et d'adsorption est en briques creuses de 10 cm d'épaisseur, les autres sont en parpaings pleins de 15 cm. La construction des parois se fait en plusieurs étapes:

- 1) pose de la première rangée de parpaings pleins;
- 2) pose des tuyaux qui assurent la jonction entre les bassins de décantation et d'adsorption;
- 3) élévation des murs jusqu'à la troisième rangée;
- 4) premier crépissage: il se fait sur une épaisseur d'au moins 2 cm à l'intérieur des bassins à partir d'un mortier préparé avec 1 sac de ciment pour 2 brouettes de sable. L'épaisseur de la chape appliquée sur le fond est de 5 cm pour les bassins de décantation et de filtration et de 10 cm pour le bassin d'adsorption;
- 5) pose du tuyau de prise d'eau traitée;
- 6) mise en oeuvre du système d'aération au niveau du bassin de décantation: elle se fait en laissant trois espaces de 5 cm chacun entre les parpaings sur la longueur de la dernière rangée du bassin. Ces espaces seront par la suite recouverts de grillage en fer pour empêcher l'intrusion d'insectes ou de petits animaux dans l'unité;

7) crépissage extérieur soigné de l'ouvrage.

- **Vérification de l'étanchéité de l'installation**

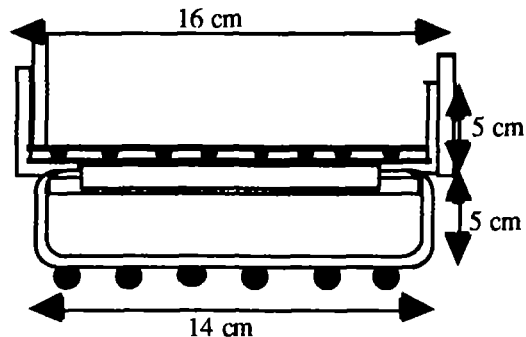
Avant de finaliser la construction de l'unité, on vérifie l'étanchéité des ouvrages. Pour cela, on remplit les bassins d'eau et l'on observe la variation du niveau au bout de 24 heures.

- **Mise en place des accessoires**

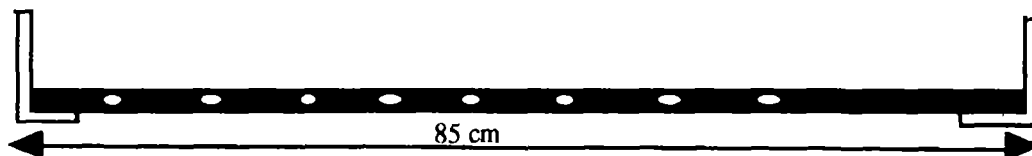
Par accessoires il faut entendre ici la plaque de répartition de l'eau dans le bassin de décantation (Fig. 3.9), les couvercles, les dispositifs d'alimentation de l'unité et les matériaux filtrants.

- *plaque de répartition de l'eau*: il s'agit d'une feuille de tôle de 2 mm d'épaisseur, perforée sur toute sa surface. Elle est équipée d'un cadre en "L" pour renforcer les bords. Elle a une longueur de 85 cm et une largeur de 14cm;





(a) Coupe transversale



(b) Coupe longitudinale

**Fig. 3.9:** plaque de répartition de l'eau dans le bassin de décantation de l'unité de déferrisation

- **couvercles de l'unité:** ils sont au nombre de deux, un pour couvrir le bassin de décantation, et l'autre pour couvrir les bassins d'adsorption et de filtration. Ils sont confectionnés en métal;
- **dispositifs d'alimentation de l'unité:** il s'agit essentiellement du canal d'alimentation de l'unité et du tuyau d'exhaure de la pompe;
- **mise en place des matériaux filtrants:** elle consiste à mettre en place dans les bassins les granulats (sable + gravier) dans les proportions requises (cf. chapitre VI);

- *mise en place de bouchons de fermeture des tuyaux de vidange*: s'assurer que les deux bouchons de fermeture des tuyaux de vidange sont vissés avant la mise en marche de l'unité.

- **Mise en marche de l'unité**

Après la construction, l'étanchéité des bassins est vérifiée et les accessoires sont mis en place avant de procéder à la mise en service de l'unité. La vanne d'extraction de l'eau brute est donc fermée tandis que celle permettant l'alimentation de l'unité est ouverte. Ainsi on procède au pompage de l'eau jusqu'au remplissage de l'unité qui intervient habituellement après environ 25 mn selon le débit de la pompe. L'écoulement a lieu alors par la prise d'eau.

#### REMARQUE

Toutes les étapes de la mise en oeuvre sont suffisamment détaillées dans un document intitulé "Manuel de construction d'exploitation et d'entretien d'une unité de déferrisation" (CREPA 1992).

L'*Annexe A* présente les photographies de quelques unes des unités de déferrisation types AF et ADAF réalisées par le CREPA.

## IV

# CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX UTILISES DANS LE TRAITEMENT DES EAUX

L'expérimentation de l'utilisation d'une diversité de matériaux locaux pour l'élimination du fer dans les unités de traitement répond à un double souci d'efficacité et de baisse des coûts d'exploitation des ouvrages. Quatre types de matériaux locaux ont été testés: sable, gravier quartz, gravier granitique et gravier latéritique.

### IV.1) SABLE

Le sable est considéré comme matériau de filtration par excellence à faible coût. On en trouve partout dans les zones d'études. Il permet de retenir dans ses espaces inter granulaires les particules en suspension ayant échappé aux précédents stades de traitement.

Deux moyens de contrôle sont utilisés pour suivre le fonctionnement de cette couche filtrante:

- *le suivi de l'évolution de la perte de charge.* Elle se fait à partir de séries de mesures du débit d'eau filtrée et de la hauteur d'eau au dessus de la couche filtrante. Le "débit de colmatage" qui est la plus faible valeur de débit acceptable pour les populations correspond à la perte de charge maximale admissible.

- le suivi de l'évolution de la qualité de l'eau filtrée dont la représentation graphique est illustrée par la figure 4.1 ci-dessous.

Cette figure fait ressortir trois périodes caractéristiques du fonctionnement du filtre de l'unité:

- **zone 1**: période de mise en équilibre du filtre après le lavage (période de maturation);
- **zone 2**: période de fonctionnement normal du filtre;
- **zone 3**: début de crevaison du filtre;

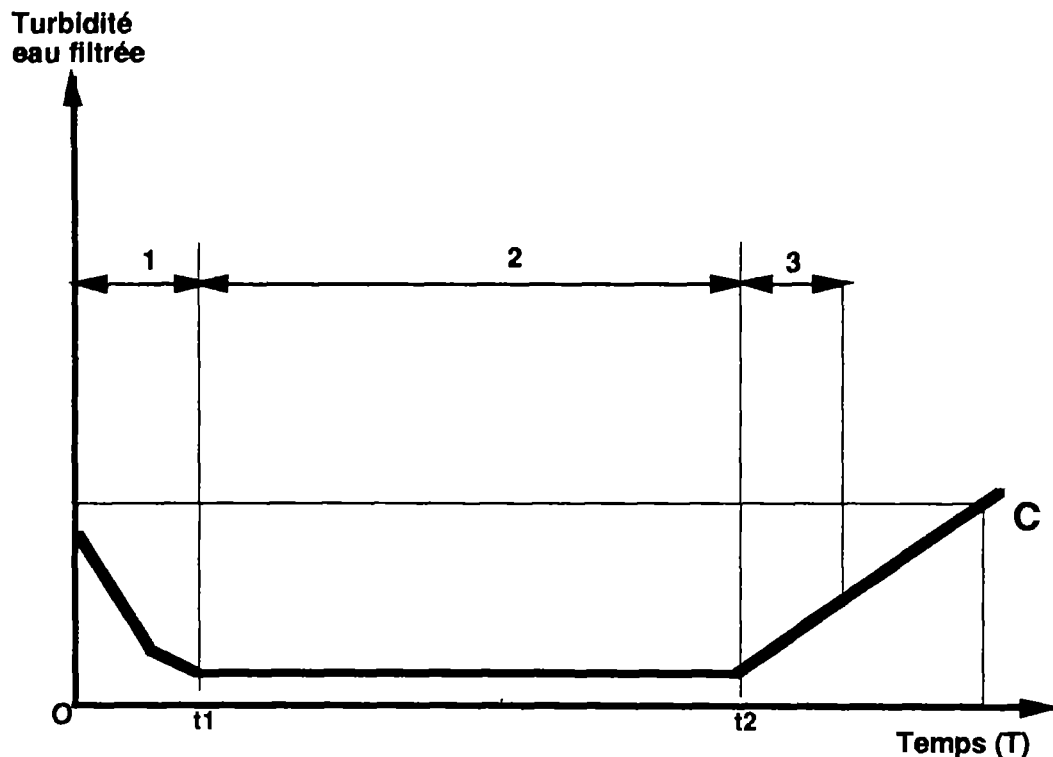


Fig. 4.1: Courbe d'évolution de la turbidité (Dégremont, tome 1, 1989)

Le point C correspond à la valeur limite de turbidité acceptable dans l'eau filtrée après le temps T de fonctionnement de l'unité de déferrisation. Ce phénomène d'augmentation de la turbidité de l'eau filtrée s'accroît avec le colmatage progressif du filtre. Il est le résultat de l'admission de fines particules de fer dans l'eau filtrée.

Durant la période d'étude, deux fourchettes de granulométrie de sable ont été expérimentées: la première de 0,8 mm à 2 mm et la seconde de 0,8 mm à 2,5 mm. Les paramètres caractéristiques des matériaux filtrants à analyser pourraient englober:

- la taille effective des grains (diamètre effectif) ;
- le coefficient d'uniformité ;
- la densité relative ;
- la masse unitaire sèche (maximale et minimale) ;
- la porosité (maximale et minimale);
- la forme des grains (angulaire ou ronde);
- la friabilité qui permet de choisir les matériaux susceptibles d'être utilisés en filtration, sans risque de production de débris fins pendant les opérations de lavage;
- la perte à l'acide: ce paramètre ne doit pas être toléré lorsqu'il est important dans une eau susceptible de contenir du gaz carbonique agressif ou toute acidité minérale;
- la masse volumique des grains constituant le milieu filtrant;
- les masses volumiques apparentes dans l'air et l'eau.

L'analyse de ces différents paramètres conduirait à une recherche beaucoup plus poussée sur le matériau. Nous nous sommes alors appuyés sur les paramètres essentiels qui caractérisent un matériau filtrant: le *diamètre effectif* et le *coefficient d'uniformité*. Le *diamètre effectif* ( $D_e$ ) ou *taille effective* ( $T_e$ ) correspond à la grosseur des mailles du tamis qui laisse passer 10% de la masse de l'échantillon de sable. Le *coefficient d'uniformité*

$C_U$ ) est le rapport entre le diamètre qui laisse passer 60% des particules de sable et celui qui en laisse passer 10%.

Le tableau 4.1 ci-dessous présente les valeurs des paramètres mesurés sur les deux types de sable utilisés comme matériaux filtrants. Leurs courbes granulométriques sont consignées en *Annexe B*.

**Tableau 4.1:** Caractéristiques des sables utilisés comme matériaux filtrants dans les unités de déferrisation.

	PARAMETRES			
	Diamètre laissant passer 10% (mm)	Diamètre laissant passer 60% (mm)	Taille Effective Te (mm)	Coefficient d'Uniformité $C_U = d_{60}/d_{10}$
Sable de granulométrie comprise entre 0,8 et 2 mm	0,9	1,26	0,9	1,40
Sable de granulométrie comprise entre 0,8 et 2,5 mm	0,9	1,32	0,9	1,40

Pour un fonctionnement adéquat du filtre, il est souhaitable que le coefficient d'uniformité soit inférieur à 1,6. On peut accepter des valeurs allant jusqu'à 1,8 (*Degrémont, tome 1, 1989*). Ainsi les deux types de sable utilisés comme matériaux filtrant répondent bien à cette recommandation.

#### IV.2) GRAVIER QUARTZ

Le gravier quartz est translucide, de couleur blanche laiteuse lorsqu'il est bourré d'inclusions liquides ou gazeuses, devient rose quand il contient un peu de fer oxydé. Le gravier quartz a été utilisé durant toute la période d'expérimentation dans les zones d'aération, d'adsorption et de filtration selon les granulométries suivantes:

- 2,5 à 5 cm au cours des procédés ci-après: aération pour l'unité et adsorption pour l'unité ADAF et comme support des matériaux filtrant;
- 1 à 2,5 cm dans le bassin d'adsorption de l'unité ADAF.

De formule chimique  $\text{SiO}_2$ , le quartz est un minéral très résistant et répandu. Il est généralement ramassé dans le lit des cours d'eau et concassé pour obtenir des grains de différents diamètres. Le choix des deux granulométries répond alors à un souci d'efficacité et de baisse des coûts d'exploitation des unités.

#### IV.3) GRAVIER GRANITIQUE

Il existe une grande variété de granite qui se distingue par la couleur, la taille des grains, l'orientation des cristaux et la présence de minéraux particuliers. Le granite expérimenté au cours de l'étude est une roche grisâtre, dure et rugueuse, de densité voisine de 2,7. A l'oeil nu, les cristaux ont sensiblement la même taille.

Les roches de la famille des granites sont définies par leur composition minéralogique (R. Coppens *et al.*, 1966). Leur composition chimique présente en général une teneur en silice variant de 65 à 75%, une teneur en alumine ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) voisine de 15%, des oxydes alcalins ( $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2$ )

représentant 7 à 10 % du poids total et de la chaux (CaO) d'une proportion de l'ordre de 0 à 3%.

Deux fourchettes de granulométrie ont été expérimentées dans l'unité type et au cours de la phase d'adsorption de l'unité ADAF. Ces granulométries sont :

- 2 à 4 mm pour le gravier granitique fin, et
- 5 à 8 mm pour le gravier granitique moyen.

#### IV.4) GRAVIER LATÉRIQUE

De forme arrondie, les granulats utilisés proviennent de cuirasses ferrugineuses. A la formation, la latérite contiennent du fer d'aluminium et de la silice. Sous l'effet combiné des variations de précipitations et de températures, il se produit une oxydation et une dessiccation dans la zone de battement de la nappe (*H. Badoux, 1989*). Cela provoque la rupture des complexes ferrosiliciques et la cristallisation de  $Fe_2O_3$ . Il se crée ainsi un horizon de 1 à 3 m d'épaisseur, une sorte de carapace.

Lorsque l'homme ou les variations climatiques font disparaître la forêt, deux phénomènes se produisent: d'abord une oxydation rapide de l'humus, puis l'érosion de l'horizon supérieur faisant affleurer la carapace qui se recristallise et durcit, donnant une cuirasse ferrugineuse dure que seuls le pic ou l'explosif peuvent briser. C'est de cette roche qu'est tiré le gravier latéritique difficile à casser. Ce gravier a été expérimenté dans les deux unités sous deux formes: le premier a une granulométrie comprise entre 2 et 4 mm (gravier fin ) et le second, entre 5 et 8 mm (gravier moyen).



## V

**METHODOLOGIE**

Tout au long de l'étude, l'une des préoccupations essentielles a été l'obtention de résultats fiables permettant d'apprécier de façon objective la qualité des eaux prélevées aux différents stades du processus d'élimination du fer dans les unités de traitement. Ainsi, une mention est faite dans ce chapitre sur les erreurs susceptibles de se produire aussi bien dans les méthodes d'analyse que dans les techniques d'échantillonnage utilisées.

Au cours de l'étude, il a été apprécié l'impact sur la qualité de l'eau traitée des facteurs ci-après: la nature, la granulométrie et l'épaisseur des couches de matériaux utilisés et le sens d'écoulement de l'eau. Plusieurs combinaisons de ces facteurs ont également été expérimentées.

**V.1) MISE EN PLACE DES COUCHES DE GRANULAT**

Avant la mise en marche des unités, les matériaux utilisés (gravier et sable) sont soigneusement lavés et rincés à l'eau chlorée afin d'éliminer toute contamination extérieure. L'eau de Javel à 12° ou l'hypochlorite de calcium sont utilisés. Au cours de ces années de recherche, nous avons étudié l'impact sur la qualité de l'eau traitée des facteurs suivants:

- changement de l'emplacement des couches de granulats;
- variation de la granulométrie des matériaux des différentes couches;

- variation de la hauteur des couches de granulats;
- suppression ou rajout d'autres couches de granulats (essentiellement les couches de gravier);
- changement du sens de l'écoulement de l'eau à travers les couches de granulats ( cela concerne uniquement l'unité type);
- combinaison de deux ou plusieurs de ces points ci-dessus mentionnés.

## V.2) ECHANTILLONNAGE

La qualité de l'échantillonnage est fondamentale pour évaluer le traitement efficace de l'eau. Des erreurs sont souvent produites au cours de l'échantillonnage. Ainsi, l'augmentation du nombre d'analyses entraîne une réduction de l'erreur totale sur les mesures jusqu'à une certaine. De ce fait:

- il est plus utile de faire un seul dosage sur deux échantillons qu'un dosage en double sur un échantillon;
- il est plus utile de faire un dosage sur trois échantillons qu'un dosage en double sur deux échantillons.

C'est ainsi que le plan d'échantillonnage retenu a été établi de manière à tenir compte d'un seul facteur extérieur au système: la quantité d'eau pompée. Ce facteur est indissociable de l'heure de prélèvement et de la période (saison sèche ou hivernale). En effet, suivant les heures de la journée, la pompe est plus ou moins sollicitée. Cela se comprend aisément quand on sait que les utilisateurs des unités de déferrisation (sauf ceux de Dagnoin) sont en milieu rural et ont des préoccupations bien spécifiques en fonction des moments de la journée.

Ainsi, il y a eu le suivi de la fréquence d'utilisation des unités de déferrisation. Force est de reconnaître qu'en moyenne, tous les ouvrages présentent une fréquence d'utilisation journalière similaire. Ensuite, elle a été ramenée à la quantité d'eau pompée au cours des différentes heures de la journée. La période d'observation se situe entre 6h00 et 19h00, et le tableau 5.1 ci-dessous contient les résultats des mesures de la quantité moyenne d'eau pompée par jour sur les forages équipés d'unités de déferrisation.

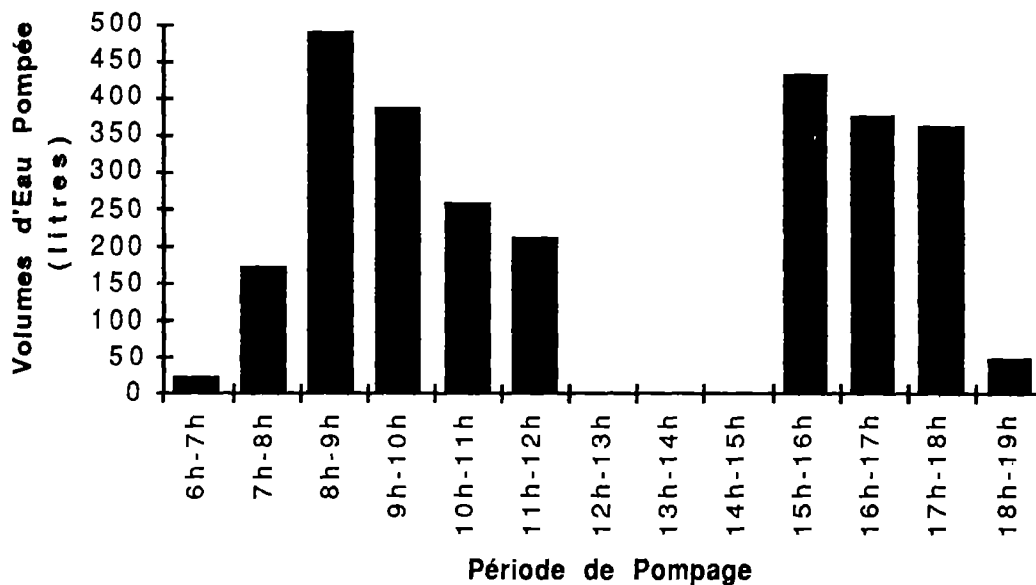
*Tableau 5.1: Quantité d'eau pompée en moyenne par jour.*

Heures d'observation	Quantité d'eau pompée
06h00' - 07h00'	02,4 S
07h00' - 08h00'	17,1 S
08h00' - 09h00'	49,0 S
09h00' - 10h00'	38,6 S
10h00' - 11h00'	25,9 S
11h00' - 12h00'	21,2 S
12h00' - 13h00'	00,0 S
13h00' - 14h00'	00,0 S
14h00' - 15h00'	00,0 S
15h00' - 16h00'	43,3 S
16h00' - 17h00'	37,6 S
17h00' - 18h00'	35,9 S
18h00 - 19h00'	04,7 S

1 S = 1 seau de 10 litres

L'histogramme de la figure 5.1 ci-dessous illustre bien cette variation de la consommation en fonction des heures de la journée. Il ressort de ce graphique que l'intensité du pompage varie en fonction des heures de la journée; ce qui peut influencer sur la teneur en fer de l'eau brute pompée.

Ainsi le plan d'échantillonnage adopté tient compte du facteur "fréquence d'utilisation de la pompe" qui peut être assimilé au facteur "quantité d'eau pompée". Dès lors, les prélèvements ont été effectués en continu ou de façon ponctuelle à l'entrée des unités (eau brute) et à la sortie (eau traitée) et quelque fois à certaines étapes du traitement. Ces prélèvements se font à différentes heures de la journée et les analyses immédiatement après. Les jours suivants, les prélèvements sont effectués à d'autres heures. Ce qui a permis de disposer d'une gamme variée de résultats.



*Fig. 5.1: Evolution journalière de la quantité d'eau pompée*

Les échantillons sont prélevés dans des bouteilles stérilisées lorsqu'il s'agit de faire l'analyse bactériologique, ou dans des flacons en plastique propres quand il est question d'analyser les paramètres physico-chimiques. Les paramètres physico-chimiques et bactériologiques que nous avons analysé durant cette étude sont énumérés ci-dessous.

### **Paramètres Bactériologiques**

- streptocoques fécaux;
- coliformes fécaux;
- coliformes totaux.

### **Paramètres Physico-chimiques**

- conductivité;
- température;
- pH;
- oxygène dissout;
- titre alcalimétrique complet;
- dureté (calcique, magnésienne, et totale);
- turbidité;
- teneur en fer total.



## VI

### RESULTATS - ANALYSE

La recherche a été menée sur 6 sites de déferrisation répartis dans un rayon de 15 km autour de la ville de Ouagadougou (Burkina Faso). Les sites de recherche étaient composés de 3 unités de déferrisation type ADAF situées dans 3 localités différentes (Ecole de Balkui, villages de Basseko et Boulbi) et 3 unités type à Dagnoin et aux villages de Balkui et de Boulbi. L'unité a deux variantes qui se différencient l'une de l'autre par le sens de l'écoulement de l'eau à travers la structure filtrante (traitement à flux vertical de "bas en haut" ou de "haut en bas").

#### VI.1) RESULTATS

Afin de lever certaines interrogations relatives aux origines possibles des fortes teneurs en fer dans l'eau brute, nous avons procédé, parallèlement à la mesure des dites teneurs, à un suivi de la pluviométrie au niveau des sites d'expérimentation. Les hauteurs pluviométriques moyennes journalières relevées durant la période allant d'avril 1990 à Août 1991 sont présentés en *Annexe C*. Nous présentons ici le cas du site de déferrisation de Balkui Ecole dont les teneurs en fer total de l'eau brute sont consignées en *Annexe D*. L'évolution de ces teneurs en fer total entre Avril et Septembre 1991 et les hauteurs de pluie enregistrées sur le site pendant la même période sont présentées sur les figures 6.1 et 6.2 respectivement.

Sur le graphique de la figure 6.2, nous avons relié les sommets d'un certain nombre d'histogrammes. En observant attentivement la courbe qui

en résulte, on remarque qu'elle a une forme similaire à celle de la courbe d'évolution des teneurs en fer de l'eau brute. L'observation des valeurs de teneurs en fer total de l'eau brute et des hauteurs de pluie tombées pendant les périodes de mesures sur les autres sites aboutit au même constat.

Il apparaît que les teneurs en fer total de l'eau brute évoluent à la hausse durant les 24 à 48 heures suivant les pluies. Les brusques variations de teneurs en fer total qui apparaissent sur la courbe sont fonction des événements pluvieux importants. C'est ainsi que sur le graphique, la période des plus fortes teneurs en fer total mesurées sur le site correspond

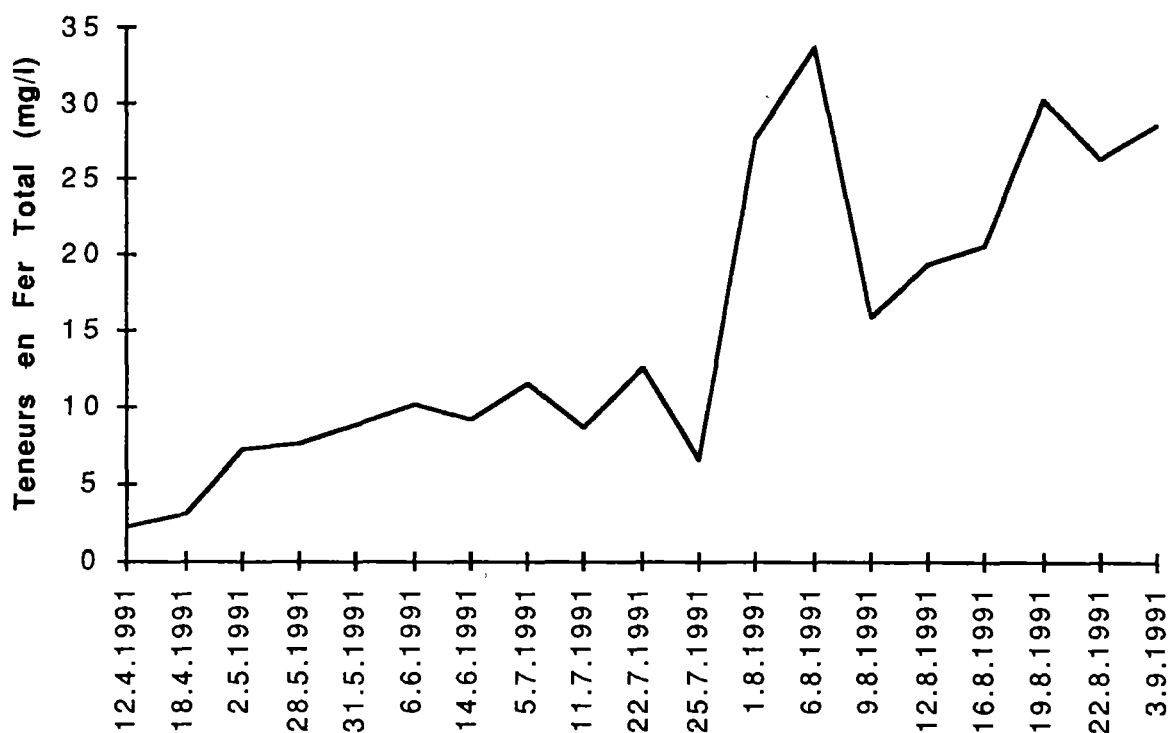


Fig. 6.1: Evolution de la teneur en fer total à l'entrée du pilote de déferrisation de Balkui-Ecole entre Avril et Septembre 1991



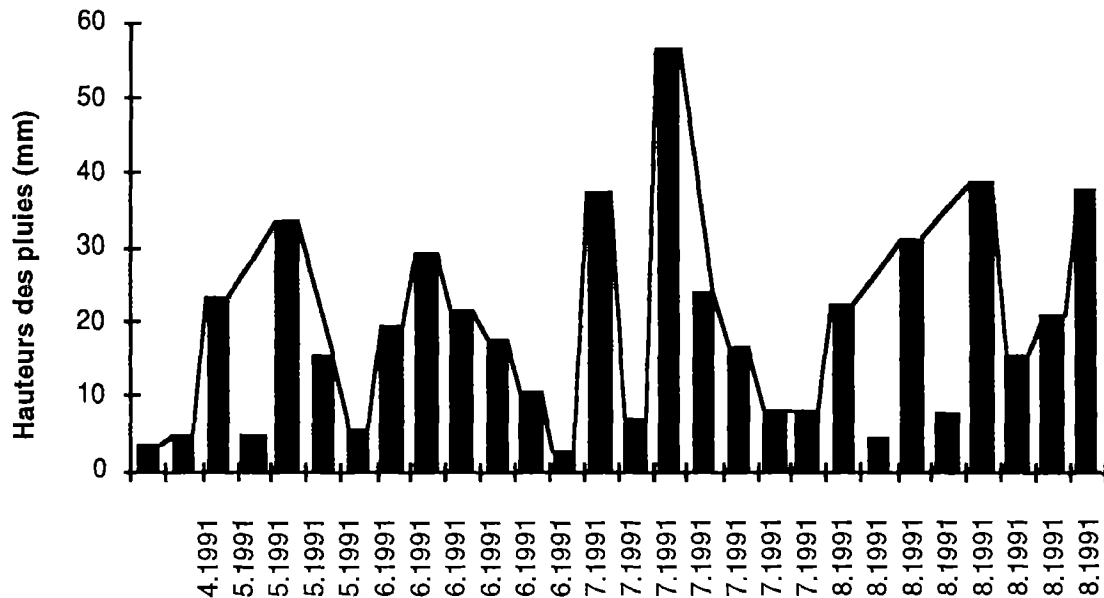


Fig. 6.2: Hauteurs pluviométriques enregistrées entre Avril et Septembre 1991

à celle où les hauteurs de pluie les plus élevées ont été enregistrées. Il s'agit en l'occurrence des mois d'août et de septembre. Cette analyse nous permet de tirer la conclusion suivante: *l'augmentation de la teneur en fer total de l'eau brute des forages étudiés est liée à la nature du sol*. Pour mieux comprendre le phénomène, analysons la coupe géologique du sol au niveau du forage de Balkui Ecole (les coupes géologiques des sols pour les autres forages se trouvent en *Annexe E*). La couche géologique rencontrée sur les 5 premiers mètres de profondeur est constituée de cuirasse latéritique. Pendant et après les événements pluvio-orageux, cette couche de latérite est lessivée à la suite de l'infiltration de l'eau. Le fer ainsi contenu dans cette couche sous forme de minéraux devient soluble et est entraîné en profondeur jusqu'à la nappe.

## VI.2) PERFORMANCE DES UNITES

Au cours de cette étude, plusieurs configurations de structure de couches de matériaux installées dans les unités ont été expérimentées. Les éléments ayant fait l'objet d'expérimentation sur les unités sont:

- la nature des matériaux;
- la granulométrie des matériaux utilisés;
- l'épaisseur des couches,
- et enfin le nombre des couches de matériaux.

Les résultats obtenus pour chacune des unités au cours des différentes campagnes de mesure sont consignés en *Annexe F*.

### VI.2.1) Unités de déferrisation type ADAF

Elles ont été installées au Burkina Faso à l'école de Balkui et aux villages de Basseko et Boulbi.

Il est prouvé que le gravier quartz sur lequel repose le sable du bassin de filtration ne joue qu'un rôle de support. Par contre, l'effet combiné des graviers (quartz, granite, latérite) utilisés dans le bassin d'adsorption et du sable du bassin de filtration sur le traitement, donne de bons rendements en respectant certaines épaisseurs et granulométries pour chaque type de matériaux. L'étude a permis ainsi de déterminer les dimensions, la granulométrie, la nature et l'épaisseur des couches de matériaux qu'il convient d'adopter au sein du bassin d'adsorption afin d'obtenir un traitement efficace.

Le tableau 6.1 ci-dessous contient les caractéristiques des matériaux à mettre en place dans le bassin d'adsorption de l'unité de déferrisation type ADAF afin d'obtenir un rendement optimum.

**Tableau 6.1:** Caractéristiques optimales des couches de matériaux à mettre en place dans le bassin d'adsorption de l'unité de déferrisation type ADAF

NATURE DU MATERIAU UTILISE	MATERIAU			
	Utilisé comme 1 <sup>ère</sup> couche dans le bassin		Utilisé comme 2 <sup>ème</sup> couche dans le bassin	
	Granulométrie	Epaisseur de la couche	Granulométrie	Epaisseur de la couche
Gravier quartz	2.5 à 5 cm	25 cm	1.5 à 2 cm 1 à 2.5 cm	45 cm 40 cm
Gravier granitique	5 à 8 mm	20 cm	3 à 5 mm	30 cm
Gravier latéritique	5 à 8 mm	25 cm	2 à 4 mm	35 cm

Il apparaît sur ce tableau que pour obtenir un traitement efficace, il faut mettre en place deux couches de matériaux dans le bassin d'adsorption. Pour ce qui est du bassin de filtration, l'efficacité du traitement a été obtenu par les matériaux dont les caractéristiques sont données dans le tableau 6.2 ci-dessous.

**Tableau 6.2:** Caractéristiques optimales des couches de matériaux à mettre en place dans le bassin de filtration de l'unité de déferrisation type ADAF

NATURE DU MATERIAU UTILISE	MATERIAU			
	Utilisé comme 1 <sup>ère</sup> couche dans le bassin		Utilisé comme 2 <sup>ème</sup> couche dans le bassin	
	Granulométrie	Epaisseur de la couche	Granulométrie	Epaisseur de la couche
Gravier quartz	2.5 à 5 cm	15 cm	-	-
Sable	-	-	0.8 à 2 mm	20 cm

De ce tableau il ressort que la filtration optimale est obtenue pour une couche de sable de 20 cm d'épaisseur avec une granulométrie de 0,8 à 2 mm. La couche de gravier quartz de 15 cm d'épaisseur lui sert de support d'une part, et de protection pour le bout du tuyau de prise d'eau contre l'admission de particules fines de sable dans l'eau traitée d'autre part.

### VI.2.2) Unité de déferrisation Type AF

Les meilleurs rendements ont été obtenus avec le quartz et le gravier latéritique combinés au sable. Ainsi les résultats de l'étude ont permis de déterminer les dimensions optimales (granulométries des matériaux et épaisseurs des couches) qui assurent le traitement le plus efficace dans l'unité de déferrisation type AF en fonction du mode de fonctionnement. Le gravier quartz de granulométrie comprise entre 2.5 cm et 5 cm est toujours utilisé à la fois dans la zone d'aération (c'est-à-dire 5<sup>ème</sup> ou dernière couche en comptant à partir du fond) et comme support à la couche de sable (c'est-à-dire 1<sup>ère</sup> couche qui se trouve tout à fait au fond de l'unité de déferrisation). Lorsqu'il est utilisé dans la zone d'aération, l'épaisseur de la couche de gravier quartz est de 20 cm. Par contre, cette épaisseur est de 10 cm lorsque le gravier quartz est utilisé comme 1<sup>ère</sup> couche dans l'ouvrage. Les valeurs optimales ainsi obtenues pour les autres couches (2<sup>ème</sup>, 3<sup>ème</sup>, et 4<sup>ème</sup> couches) figurent dans les tableaux 6.3 et 6.4 ci-dessous respectivement lorsque l'unité fonctionne de "bas en haut" et de "haut en bas".

**Tableau 6.3:** Caractéristiques optimales des couches de matériaux à mettre en place dans une unité de déferrisation type AF fonctionnant de "bas en haut"

NATURE DU MATERIAU UTILISE	MATERIAU					
	Utilisé comme 2 <sup>ème</sup> couche		Utilisé comme 3 <sup>ème</sup> couche		Utilisé comme 4 <sup>ème</sup> couche	
	Granulo- métrie	Epaisseur de couche	Granulo- métrie	Epaisseur de couche	Granulo- métrie	Epaisseur de couche
Gravier latéritique	5 à 8 mm	- 15 cm	2 à 4 mm	- 20 cm	-	-
Gravier granitique	5 à 8 mm	- 15 cm	3 à 5 mm	- 20 cm	-	-
Sable	-	-	-	-	0,8 à 2 mm	- 20 cm

**Tableau 6.4:** Caractéristiques optimales des couches de matériaux à mettre en place dans une unité de déferrisation type AF fonctionnant de "haut en bas"

NATURE DU MATERIAU UTILISE	MATERIAU					
	Utilisé comme 2 <sup>ème</sup> couche		Utilisé comme 3 <sup>ème</sup> couche		Utilisé comme 4 <sup>ème</sup> couche	
	Granulo- métrie	Epaisseur de couche	Granulo- métrie	Epaisseur de couche	Granulo- métrie	Epaisseur de couche
Gravier latéritique	-	-	2 à 4 mm	- 20 cm	5 à 8 mm	- 15 cm
Gravier granitique	-	-	3 à 5 mm	- 20 cm	5 à 8 mm	- 15 cm
Sable	0,8 à 2 mm	- 20 cm	-	-	-	-

## REMARQUE

L'on serait tenté de penser que la traversée des couches de gravier latéritique entraînerait une augmentation du fer sous forme de composés (cf. *chapitre II*). Il faut faire la différence entre deux milieux bien distincts: le sol et l'atmosphère. La frontière entre ces deux milieux n'est autre que l'entrée de l'unité de déferrisation. Ceci est d'autant plus important que le domaine d'existence de l'hydroxyde ferreux se situe dans les milieux à potentiel d'oxygène atmosphérique.

La pression partielle en oxygène devra être inférieure à  $10^{-100}$  bar pour que le fer ferreux soit stable, ce qui correspond à un milieu privé d'oxygène (en condition d'hydromorphie dans le sol).

Le fer ferrique est soluble aux pH acides sous forme de complexe cationique ou aux pH très basiques sous forme de complexe anionique. Par conséquent, les pH usuels au niveau de l'unité de déferrisation ( $6 < \text{pH} < 8$ ) ne sont pas favorables à la solubilité de cette forme de fer.

Il est indéniable que le gravier latéritique contient du fer si bien que son utilisation comme élément filtrant entraîne des composés provoquant une augmentation des teneurs en fer de l'eau traitée à la sortie de l'unité. Pour que la qualité de l'eau soit affectée, il faut que ces composés soient dans les conditions nécessaires à leur dissolution. Pourtant, lorsque le gravier latéritique est mis en contact avec l'eau en présence de l'oxygène atmosphérique le fer ferreux donne naissance au fer ferrique, qui, à son tour ne se trouve pas dans les conditions favorables à sa dissolution ( $6 < \text{pH} < 8$ ).

L'aération, première étape du processus de déferrisation au niveau de l'unité, provoque le passage du fer ferreux, après oxydation, à l'état ferrique. Puisqu'à l'état ferrique les conditions du milieu ne sont pas favorables à sa solubilité, il se produit alors un phénomène d'agglomération des particules

non solubles de fer pour former des floccs qui se déposent à la surface de la structure filtrante. Ce dépôt de boue s'épaissit au fur et à mesure de l'utilisation de l'unité et finira par constituer une sorte de filtre à cause des gros floccs. La propriété du gravier latéritique de fixer à sa surface des ions métalliques appelée "adsorption" permet d'arrêter une bonne partie des fines particules se trouvant dans l'eau traversant la couche de graviers.

### VI.3) CHOIX DU TYPE D'UNITE DE DEFERRISATION

En plus des caractéristiques des couches filtrantes, le choix du type d'unité de déferrisation constitue l'un des résultats les plus importants de cette étude. En effet dans ce chapitre il s'agit de répondre à la question suivante : *laquelle des unités type ADAF ou AF convient le mieux dans l'élimination du fer d'une eau ayant une teneur donnée en fer?* Notons que l'unité type AF comporte deux variantes se différenciant fondamentalement par le sens de l'écoulement dans la structure filtrante: flux vertical de haut en bas pour la première variante et de bas en haut pour la seconde.

#### VI.3.1) Critères de choix

##### VI.3.1.1) Critères techniques

Le principal critère technique pris en compte dans le choix de l'unité de déferrisation est la teneur en fer total de l'eau brute. En effet, la qualité de l'eau traitée et la fréquence de lavage de l'unité dépendent de la teneur en fer total de l'eau brute. La facilité d'appropriation de la technologie par les communautés villageoises est également un facteur à prendre en considération. Ces aspects seront développés dans le choix de l'unité.

### VI.3.1.2) Critères Economiques

Les coûts réels de réalisation des unités de déferrisation (y compris les frais de participation communautaire) varient en fonction du type et de la variante de l'unité. Le coût de réalisation de chaque type d'unité est indiqué dans le tableau 6.5 ci-dessous.

*Tableau 6.5: Coûts de réalisation des unités de déferrisation*

TYPE D'UNITE DE DEFERRISATION		COUTS DE REALISATION	
		(en francs CFA)	(en \$ US)
Unité Type AF	1 <sup>ère</sup> variante: Ecoulement de l'eau de "haut en bas"	160 000	320.00
	2 <sup>ème</sup> variante: Ecoulement de l'eau de "bas en haut"	180 000	360.00
Unité Type	ADAF	200 000	400.00

Il apparaît qu'entre l'unité la moins coûteuse (type AF 1<sup>ère</sup> variante) et la plus chère (type ADAF), l'écart est que de 40 000 F CFA (US \$80.00).

### VI.3.2) Comparaison entre les deux variantes de l'unité type AF

Rappelons que la 1<sup>ère</sup> variante de l'unité type AF se différencie de la seconde par le sens de l'écoulement de l'eau à partir de la sortie de la zone d'aération. Ce qui fait que l'agencement des couches de la structure filtrante est inversé lorsque l'on passe d'une variante à l'autre. Les résultats de l'étude montrent que la seconde variante est plus performante que la première.



L'efficacité du traitement dans cette seconde variante s'explique aisément. En effet, les deux variantes comportent des couches de granulats identiques en nombre, en épaisseur et en dimensions. Dans le fonctionnement de la 1<sup>ère</sup> variante, l'eau aérée retombe directement sur le gravier latéritique ou granitique et la traversée des autres couches se poursuit de haut en bas jusqu'à la filtration. Au cours du traitement, les floes les plus grossiers sont arrêtés par les premières couches de matériaux et les plus fins sont entraînés en profondeur jusqu'à la couche de sable. La grosseur des floes aidant, ce parcours descendant se fait plus rapidement. Dans cette opération, tous les floes dont la densité est supérieure à celle de l'eau se déposent. Ces phénomènes d'électromagnétisme se produisant entre la surface des grains de graviers et les particules de fer (conduisant à la formation de films par adsorption à la surface des grains), combinés au dépôt des grosses particules à la surface de la structure filtrante, entraînent le colmatage progressif des interstices des couches de gravier et de sable. C'est la rapidité avec laquelle ce phénomène de colmatage se produit qui détermine le temps de fonctionnement de l'unité.

L'étude a fait ressortir que ce phénomène de colmatage est en moyenne 2 à 3 fois plus lente dans la seconde variante de l'unité type AF. Pour mieux comprendre la performance de cette seconde variante, il suffit d'examiner le circuit de l'eau aérée (à partir de la sortie de la zone d'aération). En effet, l'eau aérée au lieu de retomber directement sur le gravier, est canalisée vers le fond de l'unité. A partir de là commence un mouvement d'ascension à travers les différentes couches de matériaux. Les mêmes phénomènes d'électromagnétisme, d'attraction moléculaire et de filtration observés dans le fonctionnement de la première variante s'y produisent également à la différence que l'eau est moins chargée dans la seconde variante. Deux observations fondamentales s'imposent ici:

- l'eau à la sortie de la zone d'aération poursuit son mouvement descendant puis subit un brusque changement du sens de l'écoulement dès qu'elle

arrive au fond de l'unité, lui conférant ainsi un mouvement ascendant avec une vitesse plus faible.

- la zone de tranquillisation aménagée au fond de l'unité sert de site de dépôt pour les floccs dont la densité est supérieure à celle de l'eau, entraînant par la même occasion une diminution de la charge de l'eau traversant les couches.

L'effet combiné de ces deux processus influence de façon très prononcée la qualité de l'eau traitée et le temps de fonctionnement de l'unité du fait que le phénomène de colmatage se trouve considérablement ralenti.

### VI.3.3) Choix du Type d'Unité

Après comparaison des deux variantes de l'unité type AF, la variante qui a été retenue comme "modèle" dans l'élimination du fer dans l'eau est celle à flux vertical avec fonctionnement de bas en haut (seconde variante de l'étude). Ainsi le choix du type d'unité en fonction de la teneur en fer total se fera entre l'unité type ADAF et la seconde variante de l'unité type AF.

Pour cela, les deux types d'unité ont été installés sur un même forage au village de Boulbi. L'avantage de cette procédure est que les deux unités sont alimentées par une même eau. Cela a permis d'avoir comme seul élément d'appréciation, la teneur en fer total de l'eau à la sortie de l'unité (eau traitée). A cet effet, il faut rappeler que la norme de potabilité de l'eau exigée par l'Organisation mondiale de la santé (OMS) est de 0,3 mg/l pour ce qui concerne la teneur en fer total à respecter pour l'eau de boisson. Cette norme constitue alors le critère d'appréciation et de qualification.

L'un des points les plus importants à souligner ici est qu'il est très difficile de comparer les deux types d'unité en terme de rendement. Ce qui aurait été beaucoup plus aisé. Malheureusement, un bon rendement n'est pas signe de respect de la norme (valeur de la teneur en fer total de l'eau traitée inférieure ou égale à 0,3 mg/l). En effet, des teneurs en fer total de l'eau brute et de l'eau traitée respectivement de 19,30 et 0,41 ou de 30,20 et 0,70 ou de 26,10 et 0,65, ou de 28,40 et 0,45 mg/l correspondent à des rendements de 98 % alors que dans aucun de ces cas-ci la norme n'est respectée. Cela nous amène donc à axer l'analyse sur la teneur en fer total de l'eau traitée.

Un autre aspect qui rend difficile la comparaison, c'est que l'abattement de la teneur en fer total de l'eau traitée par rapport à l'eau brute ne suit aucune logique mathématique. Cela se remarque aisément en observant la disparité des valeurs consignées en *Annexe F*. Ce phénomène n'a pas permis de sortir un modèle mathématique régissant l'élimination du fer dans ces unités.

En plus de la teneur en fer total de l'eau brute, un second point de comparaison dans le choix de l'unité a été spécifié au cours de l'étude ; le temps de fonctionnement de l'unité.

### **VI.3.3.1) Choix de l'Unité par Rapport au Temps de Fonctionnement**

Le "temps de fonctionnement" d'une unité de déferrisation est le temps qui sépare deux lavages consécutifs. Ce temps est plus élevé dans le cas de l'unité type ADAF que dans celui de l'unité type AF. Cela se comprend facilement du fait de la présence de la chambre de décantation dans l'unité type ADAF (cf. Fig. 3.5 et 3.6). En moyenne, le temps de fonctionnement obtenu est de 2.5 mois en moyenne pour l'unité type ADAF alors que ce temps ne dépasse pas 1 mois au maximum pour la 2<sup>ème</sup>

variante de l'unité type AF. L'appréciation du phénomène de colmatage qui détermine le temps de fonctionnement se fait par le suivi du débit de l'eau traitée (qui évolue en décroissant) et de la teneur en fer total de l'eau traitée (qui devient plus importante que celle de l'eau brute). Ce sont ces observations qui constituent les signes d'un colmatage poussé.

### **VI.3.3.2) Choix de l'Unité par Rapport à la Facilité d'Appropriation par les Communautés de Base**

Des deux modèles d'unité de déferrisation, il apparaît que l'unité type ADAF demeure la plus facile à maîtriser par les populations vivant en zones rurales et périurbaines. En effet, cette unité nécessite très peu de matériaux et matériels importés pour sa réalisation. Elle est construite en ciment alors que la construction de l'unité type AF nécessite le recours d'ouvrier spécialisé en soudure, ce qui n'est pas toujours possible en zone rurale. La variante AF en béton armé est d'un coût inaccessible pour les populations démunies, car elle coûté environ 1'500'000 fCFA (US \$3000.00).

### **VI.3.3.3) Choix de l'Unité par Rapport à la Qualité de l'Eau Traitée**

Trois intervalles de valeurs ont été identifiés dans l'appréciation de la qualité de l'eau traitée:

- lorsque la teneur en fer total est inférieure à 5 mg/l: la norme est respectée (0.3 mg/l) dans 25 % des cas pour l'unité ADAF alors qu'elle l'est dans 85 % des cas pour l'unité AF;

- lorsque la teneur se situe entre 5 et 10 mg/l: toutes les unités donnent des teneurs en fer total fluctuantes avec souvent des valeurs respectant la norme. C'est dans cet intervalle que le choix est difficile;

- lorsque la teneur en fer total de l'eau brute dépasse 10 mg/l, c'est le domaine d'utilisation par excellence de l'unité type ADAF. Ce choix est appuyé par les effets combinés du temps de fonctionnement et de la qualité du traitement. La durée de fonctionnement efficace (sans colmatage des filtres) de l'unité type ADAF dépasse de loin celle de l'unité de type AF.

Le tableau 6.6 récapitule le choix du type d'unité de déferrisation en fonction de la teneur en fer total de l'eau brute.

*Tableau 6.6: résumé du choix de l'unité en fonction de la teneur en fer total de l'eau brute*

TENEUR EN FER TOTAL DE L'EAU BRUTE	TYPE D'UNITE RECOMMANDEE
Teneur en fer total $\leq$ 5 mg/l	Type AF
5 mg/l < Teneur en fer total $\leq$ 10 mg/l	Choix du type d'unité dépendant de la disponibilité des granulats pour le traitement
Teneur en fer total > 10 mg/l	Type ADAF



## VII

# CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Pendant des décennies, la politique générale de l'hydraulique villageoise de la plupart des pays africains au sud du Sahara s'est reposée sur deux éléments: le forage et le puits à grand diamètre. A cause du processus naturel de filtration de l'eau à travers le sol pour atteindre la nappe aquifère, l'eau souterraine est de meilleure qualité par rapport à celle de surface. Malheureusement, des milliers de forages ont été abandonnés à cause de la forte teneur en fer de leurs eaux, amenant ainsi les populations bénéficiaires de ces points d'eau à se rabattre sur les sources d'eau traditionnelles avec tous les risques de contamination qui y sont associés.

Les populations rurales et périurbaines de ces pays sont ainsi confrontées au problème d'approvisionnement en eau à 2 niveaux: la quantité et la qualité. Lorsque le forage est abandonné pour cause de teneurs élevées en fer, la mise au point des unités de déferrisation est salutaire. L'installation d'une unité de déferrisation sur un forage abandonné équipé d'une pompe manuelle permet d'économiser plusieurs millions de francs CFA sur le creusage d'un nouveau forage. Sur le plan sanitaire, l'unité permet à des communautés entières d'être à l'abri de certaines maladies d'origine hydrique. Dans la plupart des cas où les forages ont été abandonnés pour cause de teneur élevée en fer, les usagers se rabattent sur les sources d'eau traditionnelles qui ne sont généralement pas potables.

Les systèmes testés et mis au point par le CREPA dans la sous région sont moins coûteux et n'utilisent pratiquement que des matériaux locaux pour la construction. Ils sont aussi faciles à entretenir et la maintenance et la

gestion sont assurées par les usagers. Avec des rendements de plus de 90% quelque soit la saison, l'unité de déferrisation type ADAF est celle qui est recommandée lorsque l'enveloppe financière le permet. En plus de cet aspect technique, ce type d'unité comparé à l'unité type AF, présente l'avantage de nécessiter une fréquence de lavage moins élevée (avec un intervalle de temps de plus de 2 mois entre 2 lavages successifs en général) d'une part, et d'être beaucoup plus simple de construction.

La vulgarisation de ces technologies n'a touché, pour l'instant, que le Burkina et le Mali. Conformément à la politique de promotion des technologies appropriées d'eau et d'assainissement prônée par le CREPA, les autres pays de la sous-région seront concernés dans les années à venir.

L'une des principales recommandations qui ressort de ces années de recherche porte sur la participation des bénéficiaires lors de la mise en oeuvre des ouvrages. En effet, il importe de s'assurer de la participation effective des populations destinataires depuis les phases préliminaires de la conception jusqu'à la réalisation des ouvrages. Cela se traduit généralement par l'apport de matériaux de construction et la fourniture de main d'oeuvre non spécialisée pour l'exécution des travaux. Cette disposition constitue un garant pour la viabilité et la durabilité des ouvrages dans la mesure où les populations s'approprieraient ces ouvrages et se sentiraient concernées par leur entretien et maintenance.

Sur le plan purement technique, les recommandations sont de deux ordres:

- sur les matériaux de construction, et
- sur les couches de matériaux à mettre en place dans les bassins.

Concernant le premier aspect, le choix des matériaux de construction, la recommandation porte sur l'unité de déferrisation type AF. En effet, le



CREPA a eu à mettre point des unités type AF en métallique et en béton armé. Ce dernier est reconnu pour sa robustesse et sa résistance. Cependant, l'étude des coûts a démontré qu'il revient 10 fois plus cher que l'unité type AF en métallique. Un autre avantage de l'unité type AF en métallique est qu'on peut le déplacer au besoin sur un autre site. Compte tenu du niveau des revenus (très souvent bas) des populations bénéficiaires et de la facilité qu'offre l'unité type AF en métallique aussi bien dans sa réalisation que dans le changement de site, le CREPA recommande fermement son utilisation lorsqu'il est question d'installer une unité type AF pour le traitement de l'eau.

Pour ce qui est des couches de matériaux utilisées, afin d'obtenir un traitement efficace on recommande:

- la mise en place de 2 couches de graviers dans le bassin d'adsorption de l'unité de déferrisation type ADAF (les dimensions sont définies dans le tableau 6.1);
- l'utilisation d'une couche de sable de 20 cm d'épaisseur avec une granulométrie de 0,8 à 2 mm dans le bassin de filtration de l'unité de déferrisation type ADAF;
- l'utilisation d'une couche de gravier quartz grossier comme support de la couche de sable dans le bassin de filtration de l'unité de déferrisation type ADAF;
- l'installation de l'unité de déferrisation type AF avec fonctionnement de "bas en haut" lorsque ce type d'unité est choisi pour le traitement de l'eau;
- enfin, le choix de l'unité de déferrisation type ADAF lorsque les moyens financiers le permettent.



## REFERENCES

- A. Maul et al - Stratégies d'échantillonnage pour analyse microbiologique sur réseaux de distribution d'eau. Méthodes et programmes informatiques, 1989
- American Water works Association- Simplified procedures for Water examination - Laboratory manual, 1975
- B. Pibgnma - Etude expérimentale et mobilisation des transferts verticaux d'eau en milieu poreux non saturé : application à la recharge des nappes de socle en climat soudano-sahélien. Rapport de thèse, février, 1993
- BECTRA (Bureau d'Etudes et de Coordination de Travaux d'Assainissement) - Unité de Potabilisation : Combifiltre, 1988
- British Geological Suriey - Iron in Rural ground Water
- C. Nagpur (india) - Desinfection for small community water supplies
- CIR - La filtration lente sur sable pour l'approvisionnement en eau dans les pays en développement. Série des documents techniques 11, Novembre 1981
- CREPA - Manuel de construction d'exploitation et d'entretien d'une unité de déferrisation - Décembre, 1992
- Degrémont - Mémento technique de l'eau 9 è Edition Tome 1,1989
- Degrémont - Mémento technique de l'eau 9 è Edition Tome 2,1989
- Dr Ing. C. Toure - Elimination de la pollution carbonée dans deux réacteurs à biomasse fixée sur support de latérite et quartz en conditions climatiques tropicales sahéliennes-Possibilités et limites de réutilisation des effluents par l'irrigation des sols locaux thèse N° 653, Lausanne , EPFL, 1986
- ENSIC - Trench in water treatment Technologies, Environmental sanitation Reviews, N°23/24, December 1987
- ENSIC - Application of microfiltration for Water and wastewater treatment, Environmental sanitation reviews, N° 31, june 1991
- ENSIC - Water filtration Technologies for developing countries Environmental Sanitation Review, N° 12, December 1983
- ENSIC - Surface water filtration for rural areas. Guidelines for design, construction, operation and maintenance ,1982
- F. Ahmed - Low cost iron removal for handpump tubewelle Departement of civil Engineering, University of stratclyde Glassgow, july 1987
- F. Edeline - Equation physico-chimique des eaux. théorie et technologie Edition technique et documentation, 1985
- G. Smethurst - Basic water treatment for application world wide, second edition, 1988
- Grosvenor Press International - Developing world water, 1987
- Grosvenor Press International - Developing world water, 1988

- Grosvenor Press International - Developing world water, 8
- H Badoux - Cours de Géologie Générale, 1989
- IIGGE - La pollution des nappes par le fer et le manganèse en liaison avec l'interface nappe-rivière, INSA de Lyon, janvier 1990
- International Water Supply Association - Aqua, Vol 40, N° 5 October 1991
- IRC - Slow sand filtration manual for caretakers training. Series N° 1 November 1985
- IRC (CIR) - La filtration lente sur sable manuel d'entretien. Série des Guides de formation, Mars 1988
- K. Bajrachya - Removal of Iron from ground water. Asian Institute of Technology,
- M. Tardat-Henry : Chimie des Eaux. Première Edition revue et corrigée. (Editions Griffon d'argile, 1984)
- M. Wegelin - Préfiltre à flux horizontal (PFH). Un manuel de conception, de construction et d'exploitation, IRCWD ,N° 07/87
- M. Wegelin (- Horizontal-flow Roughing filtration (HRF) A. Design, construction and Operation manuel, IRCWD - Report N° 06/86
- N. R. Equina - Iron and Manganese removal by horizontal filtration. Asian Institute of Technology, 1979
- P. Jaffeote et al - The reduction and control of unaccounted for water working guidelines. World Bank Technical paper, number 72, September 1987
- R. Coppens et al - Précis de géologie, tome 1 Presses Universitaires de France, 1966
- R. Coppens et al - Précis de géologie, tome 2 Presses Universitaires de France ,1969
- R. C. Prevost- Corrosion Protection of Pipelines conveying water and wastewater. Guidelines. World Bank Technical Paper, Number 69, 1987
- R. Desjardins - Le traitement des eaux. Edition de l'Ecole Polytechnique de Montréal , 1988
- WHO - Modular plant for water treatment vol 1, Technical Documents 8
- WHO - Modular plant for water treatment vol 2, Technical Documents 8
- WHO - Guidelines for drinking-water quality, vol 1 Recommendations, 1984
- WHO - Guidelines for drinking-water quality, vol 2 Health criteria and other support information, 1984
- WHO - Guidelines for drinking-water quality, vol 3 drinking-water quality control in small-community supply, 1985
- Z. Bin Arshad - Improvement of filtration operation by chlorination. Filtration process for Iron removal, Asian Institute of Technology, 1985

## *ANNEXES*



**ANNEXE A.1** Unité de Déferrisation type "AF" en béton armé  
(Dagnoen, Burkina Faso)

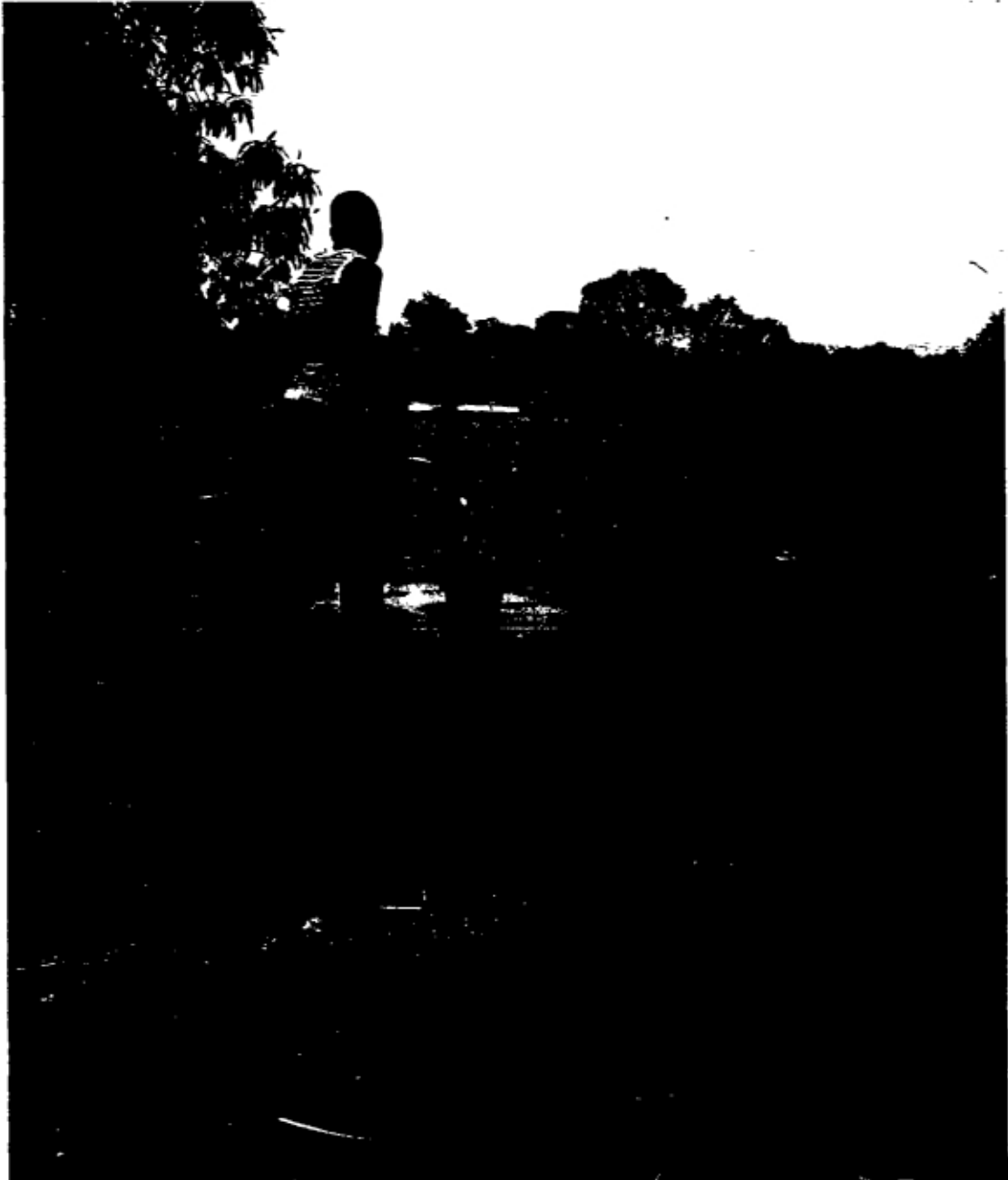


**ANNEXE A.2** Unité de Déferrisation type "AF" en métallique  
(Roumtenga, Burkina Faso)



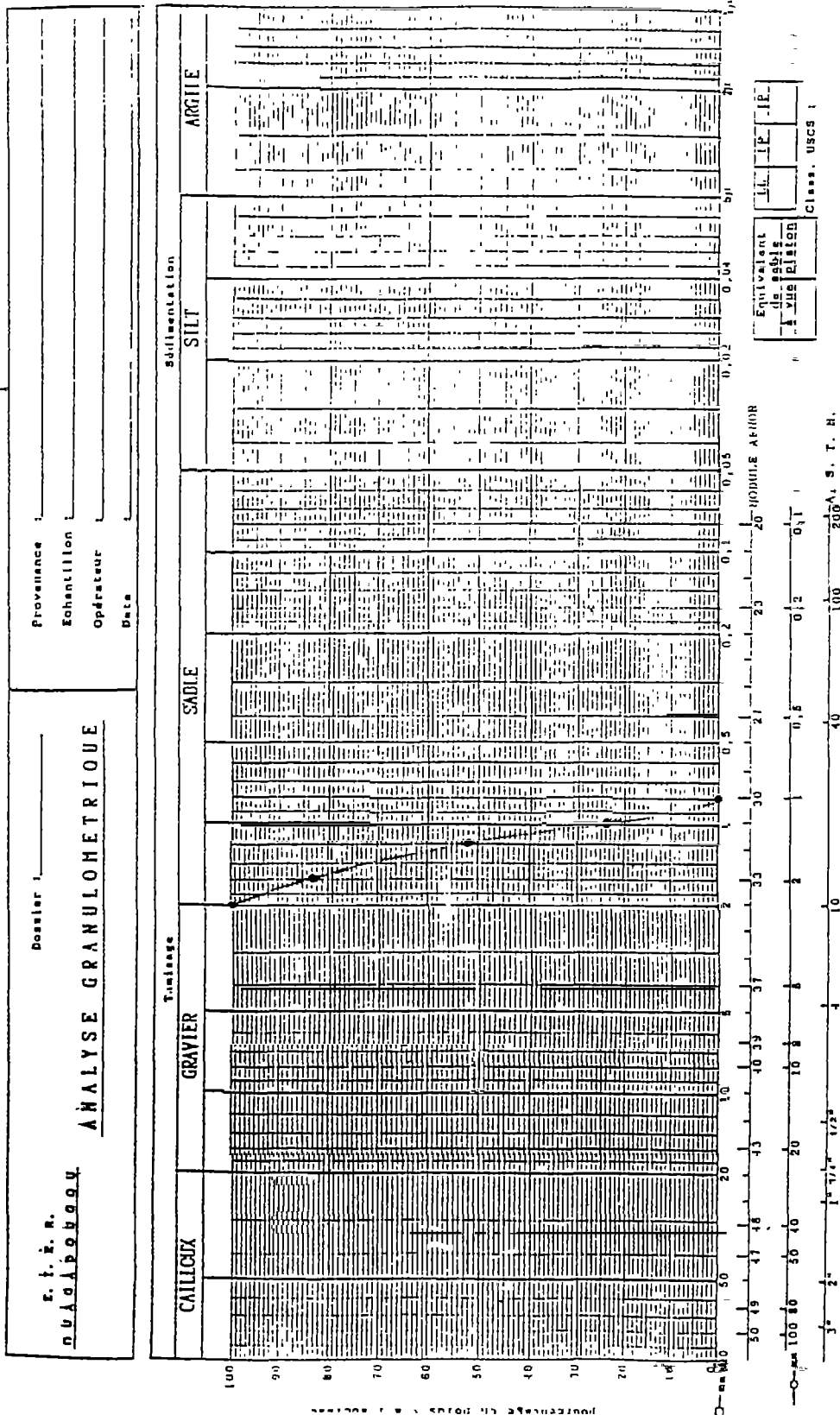


**ANNEXE A.3** Unité de Déferrisation type "ADAF"  
(Balkui-Ecole, Burkina Faso)



### ANNEXE B.1 Analyse Granulométrique du Premier Type de Sable (0,8 à 2 mm)

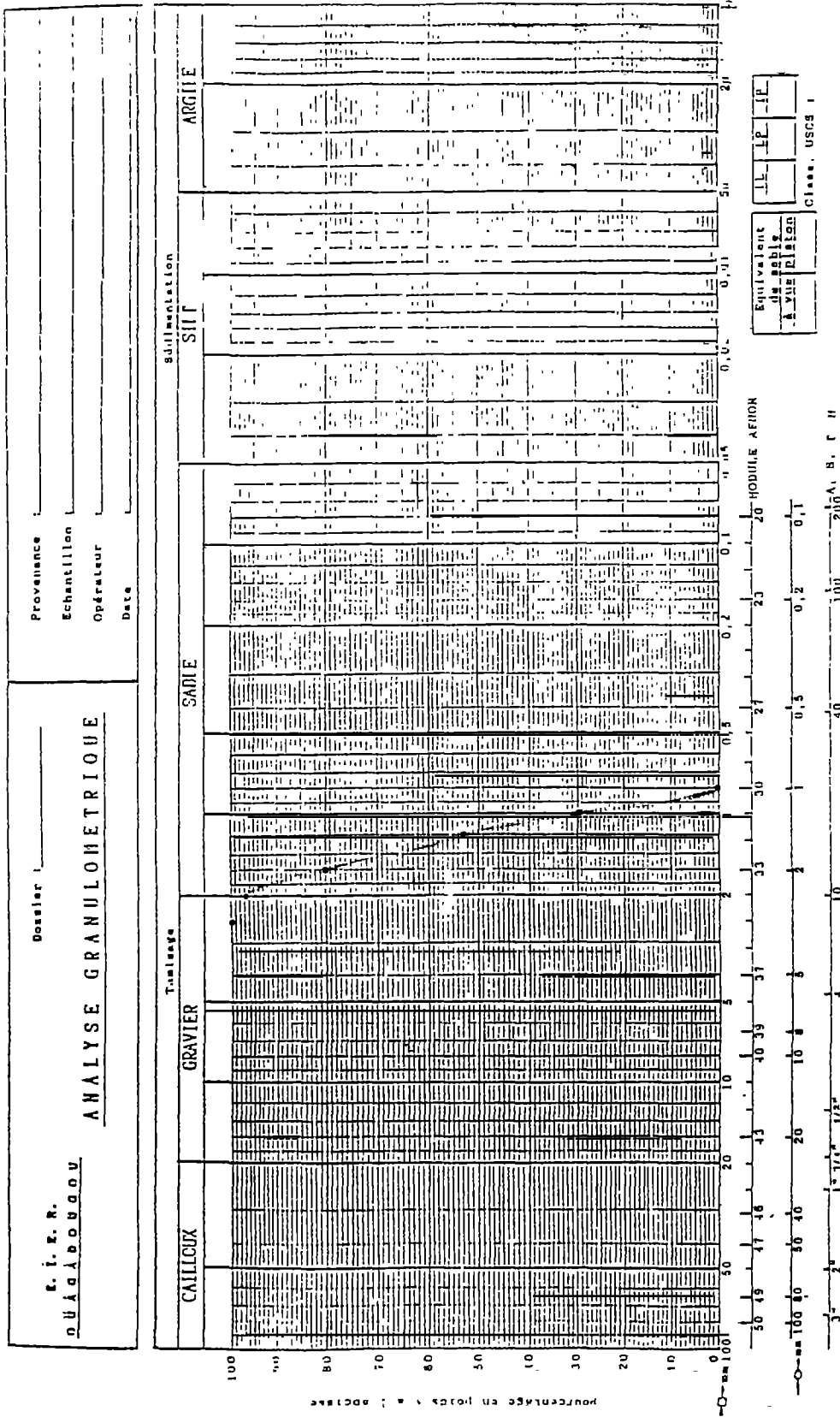
<b>Module N<sup>o</sup></b>		30	31	32	33	34
<b>Ouverture du tamis</b>	(mm)	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0
<b>Poids de la tare + refus</b>	(g)	325	365	395	255	85
<b>Poids de la tare</b>	(g)	85	85	85	85	85
<b>Poids du matériau</b>	(g)	240	280	310	170	0
<b>Poids du matériau de diamètre inférieur à l'ouverture du tamis</b>		0	240	520	830	1000
	(Passing en g)					
<b>Pourcentage passant</b>	(%)	0	24	52	83	100



Courbe granulométrique : Sable 0.8 à 2 mm

**ANNEXE B.2 Analyse Granulométrique du Premier Type de Sable  
(0,8 à 2,5 mm)**

<b>Module N°</b>		<b>30</b>	<b>31</b>	<b>32</b>	<b>33</b>	<b>35</b>
<b>Ouverture du tamis</b>	<b>(mm)</b>	<b>0,8</b>	<b>1,0</b>	<b>1,2</b>	<b>1,6</b>	<b>2,5</b>
<b>Poids de la tare + refus</b>	<b>(g)</b>	<b>140</b>	<b>340</b>	<b>380</b>	<b>280</b>	<b>110</b>
<b>Poids de la tare</b>	<b>(g)</b>	<b>110</b>	<b>110</b>	<b>110</b>	<b>110</b>	<b>110</b>
<b>Poids du matériau</b>	<b>(g)</b>	<b>30</b>	<b>230</b>	<b>270</b>	<b>170</b>	<b>0</b>
<b>Poids du matériau de diamètre inférieur à l'ouverture du tamis</b>		<b>0</b>	<b>300</b>	<b>530</b>	<b>800</b>	<b>1000</b>
	<b>(Passing en g)</b>					
<b>Pourcentage passant</b>	<b>(%)</b>	<b>0</b>	<b>30</b>	<b>53</b>	<b>80</b>	<b>100</b>



Equivalent de sable à vue d'œil

Class. USCS I

Courbe granulométrique : Sable 0.8 à 2.5 mm

DATE	Pluviométrie (mm)
14/04/90	9,8
27/04/90	3,7
6/05/90	6,8
10/05/90	12,7
20/05/90	21,4
24/05/90	1,5
30/05/90	37,5
5/06/90	3,3
12/06/90	16,7
16/06/90	30,5
18/06/90	7,4
24/06/90	13,1
25/06/90	11,3
30/06/90	7,4
5/07/90	1,0
11/07/90	10,5
13/07/90	25,8
14/07/90	2,1
15/07/90	9,2
22/07/90	34,7
23/07/90	11,4
25/07/90	5,4
27/07/90	21,3
31/07/90	8,3
6/08/90	28,7
9/08/90	48,2
14/08/90	8,5
15/08/90	1,2
18/08/90	37,0
25/08/90	40,8
28/08/90	34,0
29/08/90	12,8
2/09/90	9,2
7/09/90	15,8
11/09/90	5,3
14/09/90	16,4
16/09/90	25,0

DATE	Pluviométrie (mm)
23/09/90	10,6
26/09/90	24,1
3/10/90	21,2
17/04/91	3,3
27/04/91	4,7
6/05/91	2,7
15/05/91	3,2
16/05/91	7,6
24/05/91	23,4
27/05/91	4,8
29/05/91	33,3
1/06/91	15,3
3/06/91	11,5
12/06/91	5,4
15/06/91	19,4
20/06/91	29,4
23/06/91	21,4
30/06/91	17,5
8/07/91	10,4
9/07/91	2,6
17/07/91	47,8
18/07/91	4,0
21/07/91	7,1
22/07/91	10,4
25/07/91	56,4
29/07/91	24,0
31/07/91	16,4
8/08/91	8,2
11/08/91	45,0
14/08/91	4,6
15/08/91	2,5
16/08/91	7,6
18/08/91	38,6
20/08/91	15,3
23/08/91	20,9
26/08/91	37,8
27/08/91	18,1

**TABLEAU DES TENEURS EN FER TOTAL DE L'EAU BRUTE AU NIVEAU  
DU FORAGE DE L'UNITE DE DEFERRISATION DE BALKUI ECOLE  
PENDANT LA PERIODE D'OBSERVATION PLUVIOMETRIQUE.**

<b>DATE</b>	<b>TENEUR EN FER TOTAL (mg/l)</b>
10/12/90	2,50
12/12/90	3,90
17/12/90	3,75
19/12/90	5,20
4/01/91	4,16
17/01/91	4,00
31/01/91	4,80
12/02/91	6,00
20/02/91	3,55
14/03/91	2,10
18/03/91	2,13
4/04/91	2,90
12/04/91	2,14
18/04/91	3,00
2/05/91	7,20
28/05/91	7,50
31/05/91	8,80
6/06/91	10,15
14/06/91	9,10
5/07/91	11,60
11/07/91	8,55
22/07/91	12,55
25/07/91	6,45
1/08/91	27,50
6/08/91	33,50
9/08/91	15,75
12/08/91	19,30
16/08/91	20,50
19/08/91	30,20
22/08/91	26,10
3/09/91	28,40

# ANNEXE E.1 Coupe géologique du forage de Dagnoen

BURKINA FASO  
DIRECTION DES PAYS  
FORAGES ET HYDROLOGIE

INVENTAIRE  
DES RESSOURCES HYDRAULIQUES

FICHE DE FORAGE

N° provisoire : OUAGA  
Sous-Prefecture : OUAGA  
Canton : Sourain (Savin Fari)  
Village :  
Lieu dit :  
Photo aérienne n°

HER

Longitude : X =  
Latitude : Y =  
Cote sol : =  
Echelle : 1/200.000  
Mission

Financement : Projet Conacten  
Propriétaire : Projet Conacten  
Maître d'œuvre : HER  
Entreprise : HER  
Type de machine : 70 45  
Sondeur : BOUREIMA NIGRAN

Date au début des travaux : 25.07.84  
Date de la fin des travaux : 30.07.84

Massif filtrant : (nature Granite concassé / granulométrie : 3/8)

Équipement : p.v.c. lisse 35m / crépine 12m

Profondeur (m)	Coupe technique	Coupe géologique	DESCRIPTION GÉOLOGIQUE	N. S. (1)	Observations
0			0,00 gravillons latéritiques	10	
0,5			0,5 argile latéritique rouge	30	
2,5			2,5 argile latéritique brun	40	(29)
6	9 7/8		argile latéritique	50	
10			10	60	(17)
12			12	70	
12			12	80	
18			18	90	(15)
18			18	100	
24	8		22	110	(14)
24			22	120	
30			30	130	(16)
30			30	140	
36			36,5	150	(24)
36			36,5	160	
42	6		41,00	170	(70)
42			41,00	180	
42			42	190	(76)
42			42	200	
48			47	210	
48			47	220	
54			42m 45" 15l a = 20m <sup>3</sup> /h		
54			46m 50" 15l a = 10m <sup>3</sup> /h		
54			Ø 9 7/8 = 37,40		
54			Ø 8" = 37,40		
54			VE = 40m		
54			NS = 11m		
54			Vol. gravier = 750l		
54			NS.g = 13m		
60					
60					
66					
66					
72					
72					

①

Forage N° 51



# ANNEXE E.2 Coupe géologique du forage de Balkui-Ecole

INVENTAIRE DES RESSOURCES HYDRAULIQUES

N° provisoire :  
 Sous-Préfecture :  
 Canton :  
 Village : Balkui  
 Lieu dit : Ecole  
 Photo aérienne n° :

Longitude : 12° 44' 00" O  
 Latitude : 17° 30' 00" N  
 Cote esp. :  
 Carte 1/200.000 :  
 Mission :

Département :  
 Opérateur : Ecole  
 Maître d'œuvre :  
 Entreprise :  
 Type de machine : Danda - 200 - Batlage  
 Conducteur :

Date de début des travaux : 10-12-86  
 Date de la fin des travaux : 15-12-86

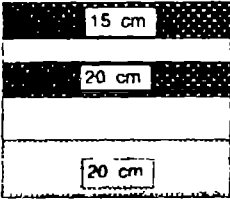
Massif filtrant :  
 Équivalent : 33m Tubage lisse Ø = 165 mm  
SM Caspère Ø = 165 mm

Profondeur (m)	Coupe technique	Coupe géologique	DESCRIPTION GEOLOGIQUE	N. S. (1)	Observations
5			argile		
10			argile		
15			argile		
20			argile		
25			argile		
30			argile		
35			argile		
40			argile		
45			argile		
50			argile		
60			argile		
62.1			argile		

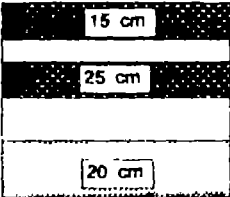
Q<sub>i</sub>  
N.S. = 20,6 m

Echelle  
 φ = 1/1500  
 L = 1/500

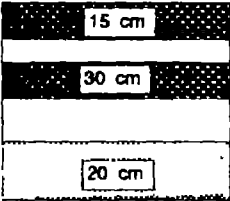
**Période du 30/07/90 au 17/08/90 ( Fonctionnement de haut en bas)**

	Gravier quartz $\varnothing = 10 - 25 \text{ mm}$	<b>Rendement maximum obtenu (%):</b>	<b>95,0</b>
	Gravier latéritique $\varnothing = 2 - 4 \text{ mm}$	<b>Rendement minimum obtenu (%):</b>	<b>69,0</b>
	Sable $\varnothing = 0.8 - 2.5 \text{ mm}$	Teneur maximum mesurée à l'entrée (mg/l):	5,6
		Teneur minimum mesurée à l'entrée (mg/l):	1,3
		Teneur maximum mesurée à la sortie (mg/l):	0,9
		Teneur minimum mesurée à la sortie (mg/l):	0,1

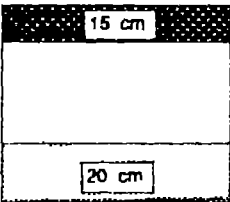
**Période du 17/08/90 au 10/09/90 ( Fonctionnement de haut en bas)**

	Gravier quartz $\varnothing = 10 - 25 \text{ mm}$	<b>Rendement maximum obtenu (%):</b>	<b>92,0</b>
	Gravier latéritique $\varnothing = 2 - 4 \text{ mm}$	<b>Rendement minimum obtenu (%):</b>	<b>57,0</b>
	Sable $\varnothing = 0.8 - 2.5 \text{ mm}$	Teneur maximum mesurée à l'entrée (mg/l):	8,1
		Teneur minimum mesurée à l'entrée (mg/l):	2,3
		Teneur maximum mesurée à la sortie (mg/l):	1,9
		Teneur minimum mesurée à la sortie (mg/l):	0,3

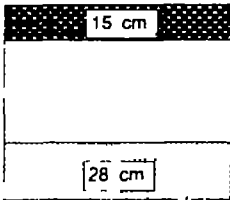
**Période du 10/09/90 au 3/10/90 ( Fonctionnement de haut en bas)**

	Gravier quartz $\varnothing = 10 - 25 \text{ mm}$	<b>Rendement maximum obtenu (%):</b>	<b>84,0</b>
	Gravier latéritique $\varnothing = 4 - 5 \text{ mm}$	<b>Rendement minimum obtenu (%):</b>	<b>51,0</b>
	Sable $\varnothing = 0.8 - 2.5 \text{ mm}$	Teneur maximum mesurée à l'entrée (mg/l):	4,8
		Teneur minimum mesurée à l'entrée (mg/l):	2,1
		Teneur maximum mesurée à la sortie (mg/l):	1,2
		Teneur minimum mesurée à la sortie (mg/l):	0,2

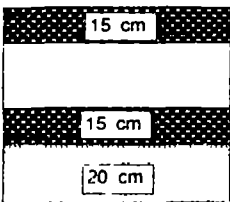
**Période du 3/10/90 au 30/10/90 ( Fonctionnement de haut en bas)**

	Gravier quartz $\varnothing = 10 - 25 \text{ mm}$	<b>Rendement maximum obtenu (%):</b>	<b>80,0</b>
	Sable $\varnothing = 0.8 - 2.5 \text{ mm}$	<b>Rendement minimum obtenu (%):</b>	<b>64,0</b>
		Teneur maximum mesurée à l'entrée (mg/l):	3,8
		Teneur minimum mesurée à l'entrée (mg/l):	1,1
		Teneur maximum mesurée à la sortie (mg/l):	0,9
		Teneur minimum mesurée à la sortie (mg/l):	0,1

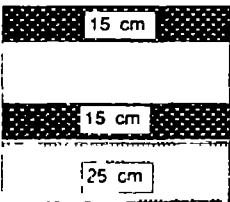
**Période du 30/10/90 au 28/11/90 ( Fonctionnement de haut en bas)**

	Gravier quartz $\phi = 10 - 25$ mm	<b>Rendement maximum obtenu (%):</b>	<b>82,0</b>
		<b>Rendement minimum obtenu (%):</b>	<b>55,0</b>
		Teneur maximum mesurée à l'entrée (mg/l):	4,2
		Teneur minimum mesurée à l'entrée (mg/l):	1,3
	Sable $\phi = 0,8 - 2,5$ mm	Teneur maximum mesurée à la sortie (mg/l):	1,1
		Teneur minimum mesurée à la sortie (mg/l):	0,1

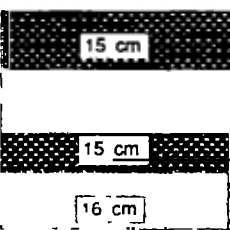
**Période du 28/11/90 au 16/01/91 ( Fonctionnement de haut en bas)**

	Gravier quartz $\phi = 10 - 25$ mm	<b>Rendement maximum obtenu (%):</b>	<b>90,0</b>
		<b>Rendement minimum obtenu (%):</b>	<b>53,0</b>
		Teneur maximum mesurée à l'entrée (mg/l):	2,7
		Teneur minimum mesurée à l'entrée (mg/l):	1,3
	Gravier latéritique $\phi = 2 - 4$ mm	Teneur maximum mesurée à la sortie (mg/l):	0,4
		Teneur minimum mesurée à la sortie (mg/l):	0,2
	Sable $\phi = 0,8 - 2,5$ mm		

**Période du 16/01/91 au 2/03/91 ( Fonctionnement de haut en bas)**

	Gravier quartz $\phi = 10 - 25$ mm	<b>Rendement maximum obtenu (%):</b>	<b>80,0</b>
		<b>Rendement minimum obtenu (%):</b>	<b>52,0</b>
		Teneur maximum mesurée à l'entrée (mg/l):	2,7
		Teneur minimum mesurée à l'entrée (mg/l):	1,4
	Gravier latéritique $\phi = 2 - 4$ mm	Teneur maximum mesurée à la sortie (mg/l):	0,3
		Teneur minimum mesurée à la sortie (mg/l):	0,2
	Sable $\phi = 0,8 - 2,5$ mm		

**Période du 2/03/91 au 11/04/91 ( Fonctionnement de haut en bas)**

	Gravier $\phi = 10 - 25$ mm	<b>Rendement maximum obtenu (%):</b>	<b>89,0</b>
		<b>Rendement minimum obtenu (%):</b>	<b>59,0</b>
		Teneur maximum mesurée à l'entrée (mg/l):	2,4
		Teneur minimum mesurée à l'entrée (mg/l):	1,4
	Gravier latéritique $\phi = 2 - 4$ mm	Teneur maximum mesurée à la sortie (mg/l):	0,3
		Teneur minimum mesurée à la sortie (mg/l):	0,1
	Sable $\phi = 0,8 - 2,5$ mm		

Période du 11/04/91 au 20/05/91 ( Fonctionnement de haut en bas )

	Gravier quartz $\phi = 10 - 25 \text{ mm}$	<b>Rendement maximum obtenu (%) :</b>	<b>93,0</b>
	Gravier latéritique $\phi = 5 - 8 \text{ mm}$	<b>Rendement minimum obtenu (%) :</b>	<b>67,0</b>
	$\phi = 2 - 4 \text{ mm}$	Teneur maximum mesurée à l'entrée (mg/l) :	3,7
	Sable $\phi = 0,8 - 2 \text{ mm}$	Teneur minimum mesurée à l'entrée (mg/l) :	1,2
		Teneur maximum mesurée à la sortie (mg/l) :	0,3
		Teneur minimum mesurée à la sortie (mg/l) :	0,1

Période du 20/05/91 au 30/06/91 ( Fonctionnement de haut en bas )

	Gravier quartz $\phi = 10 - 25 \text{ mm}$	<b>Rendement maximum obtenu (%) :</b>	<b>97,0</b>
	Gravier latéritique $\phi = 5 - 8 \text{ mm}$	<b>Rendement minimum obtenu (%) :</b>	<b>76,0</b>
	$\phi = 2 - 4 \text{ mm}$	Teneur maximum mesurée à l'entrée (mg/l) :	4,1
	Sable de quartz $\phi = 0,8 - 2 \text{ mm}$	Teneur minimum mesurée à l'entrée (mg/l) :	1,1
		Teneur maximum mesurée à la sortie (mg/l) :	0,6
		Teneur minimum mesurée à la sortie (mg/l) :	0,2

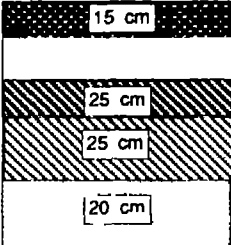
Période du 15/11/91 au 28/12/91 ( Fonctionnement de haut en bas )

	Gravier quartz $\phi = 10 - 25 \text{ mm}$	<b>Rendement maximum obtenu (%) :</b>	<b>98,0</b>
	Gravier latéritique $\phi = 5 - 8 \text{ mm}$	<b>Rendement minimum obtenu (%) :</b>	<b>76,0</b>
	$\phi = 2 - 4 \text{ mm}$	Teneur maximum mesurée à l'entrée (mg/l) :	4,3
	Sable de quartz $\phi = 0,8 - 2 \text{ mm}$	Teneur minimum mesurée à l'entrée (mg/l) :	1,2
		Teneur maximum mesurée à la sortie (mg/l) :	0,5
		Teneur minimum mesurée à la sortie (mg/l) :	0,1

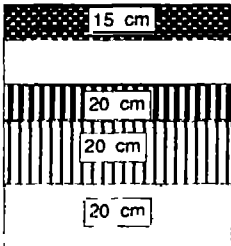
Période du 23/12/91 au 21/02/92 ( Fonctionnement de haut en bas )

	Gravier quartz $\phi = 10 - 25 \text{ mm}$	<b>Rendement maximum obtenu (%) :</b>	<b>95,0</b>
	Gravier latéritique $\phi = 5 - 8 \text{ mm}$	<b>Rendement minimum obtenu (%) :</b>	<b>69,0</b>
	$\phi = 2 - 4 \text{ mm}$	Teneur maximum mesurée à l'entrée (mg/l) :	4,3
	Sable de quartz $\phi = 0,8 - 2 \text{ mm}$	Teneur minimum mesurée à l'entrée (mg/l) :	1,4
		Teneur maximum mesurée à la sortie (mg/l) :	0,5
		Teneur minimum mesurée à la sortie (mg/l) :	0,1

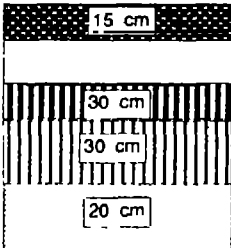
Période du 21/02/92 au 30/03/92 ( Fonctionnement de haut en bas )

	Gravier quartz $\phi = 10 - 25 \text{ mm}$	<b>Rendement maximum obtenu (%):</b>	<b>94,0</b>
	Gravier latéritique $\phi = 5 - 8 \text{ mm}$ $\phi = 2 - 4 \text{ mm}$	<b>Rendement minimum obtenu (%):</b>	<b>69,0</b>
	Sable $\phi = 0,8 - 2 \text{ mm}$	Teneur maximum mesurée à l'entrée (mg/l):	3,5
		Teneur minimum mesurée à l'entrée (mg/l):	1,3
		Teneur maximum mesurée à la sortie (mg/l):	0,4
		Teneur minimum mesurée à la sortie (mg/l):	0,1

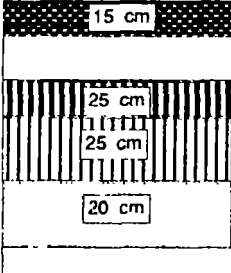
Période du 30/03/92 au 4/04/92 ( Fonctionnement de haut en bas )

	Gravier quartz $\phi = 10 - 25 \text{ mm}$	<b>Rendement maximum obtenu (%):</b>	<b>87,0</b>
	Gravier de granite $\phi = 5 - 8 \text{ mm}$ $\phi = 2 - 4 \text{ mm}$	<b>Rendement minimum obtenu (%):</b>	<b>66,0</b>
	Sable de quartz $\phi = 0,8 - 2 \text{ mm}$	Teneur maximum mesurée à l'entrée (mg/l):	3,5
		Teneur minimum mesurée à l'entrée (mg/l):	1,3
		Teneur maximum mesurée à la sortie (mg/l):	0,5
		Teneur minimum mesurée à la sortie (mg/l):	0,1

Période du 4/04/92 au 15/05/92 ( Fonctionnement de haut en bas )

	Gravier quartz $\phi = 10 - 25 \text{ mm}$	<b>Rendement maximum obtenu (%):</b>	<b>77,0</b>
	Gravier de granite $\phi = 5 - 8 \text{ mm}$ $\phi = 2 - 4 \text{ mm}$	<b>Rendement minimum obtenu (%):</b>	<b>58,0</b>
	Sable de quartz $\phi = 0,8 - 2 \text{ mm}$	Teneur maximum mesurée à l'entrée (mg/l):	3,7
		Teneur minimum mesurée à l'entrée (mg/l):	1,5
		Teneur maximum mesurée à la sortie (mg/l):	0,3
		Teneur minimum mesurée à la sortie (mg/l):	0,1

Période du 15/05/92 au 28/06/92 ( Fonctionnement de haut en bas )

	Gravier quartz $\phi = 10 - 25 \text{ mm}$	<b>Rendement maximum obtenu (%):</b>	<b>83,0</b>
	Gravier de granite $\phi = 5 - 8 \text{ mm}$ $\phi = 2 - 4 \text{ mm}$	<b>Rendement minimum obtenu (%):</b>	<b>61,0</b>
	Sable de quartz $\phi = 0,8 - 2 \text{ mm}$	Teneur maximum mesurée à l'entrée (mg/l):	4,8
		Teneur minimum mesurée à l'entrée (mg/l):	1,2
		Teneur maximum mesurée à la sortie (mg/l):	0,6
		Teneur minimum mesurée à la sortie (mg/l):	0,1

Période du 25/08/92 au 21/09/92 ( Fonctionnement de haut en bas )

<b>15 cm</b>	Gravier quartz $\phi = 25 - 50 \text{ mm}$	<b>Rendement maximum obtenu (%) :</b>	<b>81,0</b>
		<b>Rendement minimum obtenu (%) :</b>	<b>46,0</b>
	Sable $\phi = 0,8 - 2,5 \text{ mm}$	Teneur maximum mesurée à l'entrée (mg/l) :	3,0
<b>23 cm</b>		Teneur minimum mesurée à l'entrée (mg/l) :	1,2
	Gravier quartz $\phi = 25 - 50 \text{ mm}$	Teneur maximum mesurée à la sortie (mg/l) :	1,3
<b>10 cm</b>		Teneur minimum mesurée à la sortie (mg/l) :	0,1

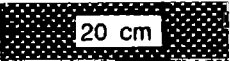
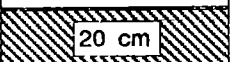
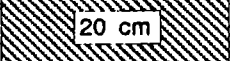
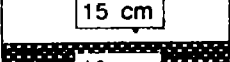
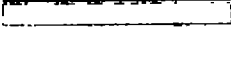
Période du 21/09/92 au 17/10/92 ( Fonctionnement de haut en bas )

<b>15 cm</b>	Gravier quartz $\phi = 25 - 50 \text{ mm}$	<b>Rendement maximum obtenu (%) :</b>	<b>89,0</b>
		<b>Rendement minimum obtenu (%) :</b>	<b>55,0</b>
	Sable $\phi = 0,8 - 0,5 \text{ mm}$	Teneur maximum mesurée à l'entrée (mg/l) :	4,2
<b>30 cm</b>		Teneur minimum mesurée à l'entrée (mg/l) :	1,6
	Gravier quartz $\phi = 25 - 50 \text{ mm}$	Teneur maximum mesurée à la sortie (mg/l) :	1,2
<b>20 cm</b>		Teneur minimum mesurée à la sortie (mg/l) :	0,6

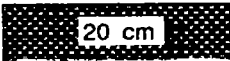
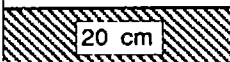
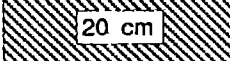
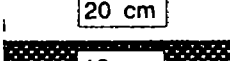
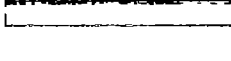
Période du 17/10/92 au 15/11/92 ( Fonctionnement de haut en bas )

<b>20 cm</b>	Gravier quartz $\phi = 25 - 50 \text{ mm}$	<b>Rendement maximum obtenu (%) :</b>	<b>84,0</b>
		<b>Rendement minimum obtenu (%) :</b>	<b>67,0</b>
	Gravier de granite $\phi = 5 - 8 \text{ mm}$	Teneur maximum mesurée à l'entrée (mg/l) :	5,0
<b>20 cm</b>		Teneur minimum mesurée à l'entrée (mg/l) :	2,8
	Gravier granite $\phi = 2 - 4 \text{ mm}$	Teneur maximum mesurée à la sortie (mg/l) :	0,4
<b>20 cm</b>		Teneur minimum mesurée à la sortie (mg/l) :	0,1
	Sable $\phi = 0,8 - 0,5 \text{ mm}$		
<b>10 cm</b>	Gravier quartz $\phi = 25 - 50 \text{ mm}$		

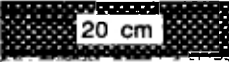
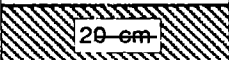
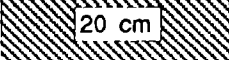
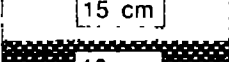
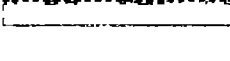
Période du 16/11/92 au 8/12/92 ( Fonctionnement de haut en bas )

	Gravier quartz $\phi = 25 - 50$ mm	<b>Rendement maximum obtenu (%) :</b>	<b>95,0</b>
	Gravier latéritique $\phi = 5 - 8$ mm	<b>Rendement minimum obtenu (%) :</b>	<b>74,0</b>
	Gravier latéritique $\phi = 2 - 4$ mm	Teneur maximum mesurée à l'entrée (mg/l) :	3,2
	Sable $\phi = 0,8 - 0,5$ mm	Teneur minimum mesurée à l'entrée (mg/l) :	1,1
	Gravier quartz $\phi = 25 - 50$ mm	Teneur maximum mesurée à la sortie (mg/l) :	0,3
		Teneur minimum mesurée à la sortie (mg/l) :	0,1

Période du 9/12/92 au 28/12/92 ( Fonctionnement de haut en bas )

	Gravier quartz $\phi = 25 - 50$ mm	<b>Rendement maximum obtenu (%) :</b>	<b>97,0</b>
	Gravier latéritique $\phi = 5 - 8$ mm	<b>Rendement minimum obtenu (%) :</b>	<b>92,0</b>
	Gravier latéritique $\phi = 2 - 4$ mm	Teneur maximum mesurée à l'entrée (mg/l) :	5,4
	Sable $\phi = 0,8 - 0,5$ mm	Teneur minimum mesurée à l'entrée (mg/l) :	2,1
	Gravier quartz $\phi = 25 - 50$ mm	Teneur maximum mesurée à la sortie (mg/l) :	0,4
		Teneur minimum mesurée à la sortie (mg/l) :	0,1

Période du 28/12/92 au 24/01/93 ( Fonctionnement de haut en bas )

	Gravier quartz $\phi = 25 - 50$ mm	<b>Rendement maximum obtenu (%) :</b>	<b>82,0</b>
	Gravier de granite $\phi = 5 - 8$ mm	<b>Rendement minimum obtenu (%) :</b>	<b>59,0</b>
	Gravier latéritique $\phi = 2 - 4$ mm	Teneur maximum mesurée à l'entrée (mg/l) :	3,7
	Sable $\phi = 0,8 - 0,5$ mm	Teneur minimum mesurée à l'entrée (mg/l) :	1,2
	Gravier quartz $\phi = 25 - 50$ mm	Teneur maximum mesurée à la sortie (mg/l) :	0,5
		Teneur minimum mesurée à la sortie (mg/l) :	0,9

Période du 25/01/93 au 29/02/93 ( Fonctionnement de haut en bas )

20 cm	Gravier quartz $\phi = 25 - 50$ mm	<b>Rendement maximum obtenu (%) :</b>	<b>72,0</b>
20 cm	Gravier latéritique $\phi = 5 - 8$ mm	<b>Rendement minimum obtenu (%) :</b>	<b>45,0</b>
20 cm	Gravier de granite $\phi = 2 - 4$ mm	Teneur maximum mesurée à l'entrée (mg/l) :	4,7
10 cm	Sable $\phi = 0,8 - 0,5$ mm	Teneur minimum mesurée à l'entrée (mg/l) :	2,0
10 cm	Gravier quartz $\phi = 25 - 50$ mm	Teneur maximum mesurée à la sortie (mg/l) :	1,3
		Teneur minimum mesurée à la sortie (mg/l) :	0,7

Période du 8/05/93 au 25/06/93 ( Fonctionnement de bas en haut )

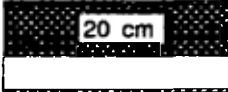
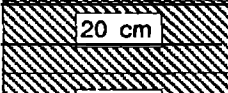
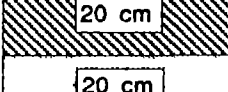
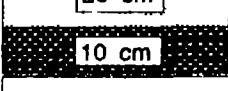
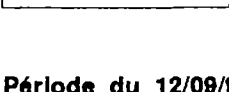
15 cm	Gravier quartz $\phi = 25 - 50$ mm	<b>Rendement maximum obtenu (%) :</b>	<b>87,0</b>
25 cm	Sable $\phi = 0,8 - 2,5$ mm	<b>Rendement minimum obtenu (%) :</b>	<b>55,0</b>
10 cm	Gravier quartz $\phi = 25 - 50$ mm	Teneur maximum mesurée à l'entrée (mg/l) :	5,4
		Teneur minimum mesurée à l'entrée (mg/l) :	1,2
		Teneur maximum mesurée à la sortie (mg/l) :	1,3
		Teneur minimum mesurée à la sortie (mg/l) :	0,1

Période du 25/06/93 au 30/07/93 ( Fonctionnement de bas en haut )

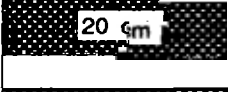

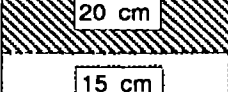
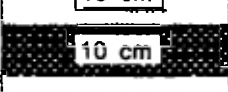
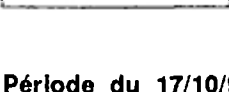
15 cm	Gravier quartz $\phi = 25 - 50$ mm	<b>Rendement maximum obtenu (%) :</b>	<b>93,0</b>
30 cm	Sable $\phi = 0,8 - 0,5$ mm	<b>Rendement minimum obtenu (%) :</b>	<b>77,0</b>
20 cm	Gravier quartz $\phi = 25 - 50$ mm	Teneur maximum mesurée à l'entrée (mg/l) :	8,2
		Teneur minimum mesurée à l'entrée (mg/l) :	2,4
		Teneur maximum mesurée à la sortie (mg/l) :	1,8
		Teneur minimum mesurée à la sortie (mg/l) :	0,4



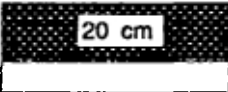


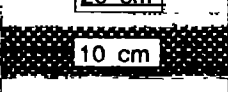

Période du 30/07/93 au 12/09/93 ( Fonctionnement de bas en haut)

	Gravier quartz $\phi = 25 - 50$ mm	<b>Rendement maximum obtenu (%) :</b>	<b>96,0</b>
		<b>Rendement minimum obtenu (%) :</b>	<b>82,0</b>
		Teneur maximum mesurée à l'entrée (mg/l) :	12,3
	Gravier de granite $\phi = 5 - 8$ mm	Teneur minimum mesurée à l'entrée (mg/l) :	2,8
		Teneur maximum mesurée à la sortie (mg/l) :	2,1
	Gravier granite $\phi = 2 - 4$ mm	Teneur minimum mesurée à la sortie (mg/l) :	0,2
	Sable $\phi = 0,8 - 0,5$ mm		
	Gravier quartz $\phi = 25 - 50$ mm		

Période du 12/09/93 au 17/10/93 ( Fonctionnement de bas en haut)

	Gravier quartz $\phi = 25 - 50$ mm	<b>Rendement maximum obtenu (%) :</b>	<b>98,0</b>
		<b>Rendement minimum obtenu (%) :</b>	<b>91,0</b>
		Teneur maximum mesurée à l'entrée (mg/l) :	11,6
	Gravier latéritique $\phi = 5 - 8$ mm	Teneur minimum mesurée à l'entrée (mg/l) :	3,2
		Teneur maximum mesurée à la sortie (mg/l) :	2,3
	Gravier latéritique $\phi = 2 - 4$ mm	Teneur minimum mesurée à la sortie (mg/l) :	0,4
	Sable $\phi = 0,8 - 0,5$ mm		
	Gravier quartz $\phi = 25 - 50$ mm		

Période du 17/10/93 au 29/11/93 ( Fonctionnement de bas en haut)

	Gravier quartz $\phi = 25 - 50$ mm	<b>Rendement maximum obtenu (%) :</b>	<b>98,0</b>
		<b>Rendement minimum obtenu (%) :</b>	<b>94,0</b>
		Teneur maximum mesurée à l'entrée (mg/l) :	6,3
	Gravier latéritique $\phi = 5 - 8$ mm	Teneur minimum mesurée à l'entrée (mg/l) :	2,1
		Teneur maximum mesurée à la sortie (mg/l) :	0,4
	Gravier latéritique $\phi = 2 - 4$ mm	Teneur minimum mesurée à la sortie (mg/l) :	0,1
	Sable $\phi = 0,8 - 0,5$ mm		
	Gravier quartz $\phi = 25 - 50$ mm		

Période du 29/11/93 au 6/01/94 ( Fonctionnement de bas en haut)

20 cm	Gravier quartz $\phi = 25 - 50$ mm	<b>Rendement maximum obtenu (%):</b>	<b>88,0</b>
20 cm	Gravier de granite $\phi = 5 - 8$ mm	<b>Rendement minimum obtenu (%):</b>	<b>73,0</b>
20 cm	Gravier latéritique $\phi = 2 - 4$ mm	Teneur maximum mesurée à l'entrée (mg/l):	3,7
15 cm	Sable $\phi = 0,8 - 0,5$ mm	Teneur minimum mesurée à l'entrée (mg/l):	1,2
10 cm	Gravier quartz $\phi = 25 - 50$ mm	Teneur maximum mesurée à la sortie (mg/l):	0,5
		Teneur minimum mesurée à la sortie (mg/l):	0,9

Période du 6/01/94 au 25/02/93 ( Fonctionnement de bas en haut)

20 cm	Gravier quartz $\phi = 25 - 50$ mm	<b>Rendement maximum obtenu (%):</b>	<b>78,0</b>
20 cm	Gravier latéritique $\phi = 5 - 8$ mm	<b>Rendement minimum obtenu (%):</b>	<b>56,0</b>
20 cm	Gravier de granite $\phi = 2 - 4$ mm	Teneur maximum mesurée à l'entrée (mg/l):	2,7
10 cm	Sable $\phi = 0,8 - 0,5$ mm	Teneur minimum mesurée à l'entrée (mg/l):	1,3
10 cm	Gravier quartz $\phi = 25 - 50$ mm	Teneur maximum mesurée à la sortie (mg/l):	0,9
		Teneur minimum mesurée à la sortie (mg/l):	0,2

Période du 15/11/91 au 6/12/91 ( Fonctionnement de haut en bas)

18 cm	Gravier quartz $\phi = 25 - 50$ mm	<b>Rendement maximum obtenu (%) :</b>	<b>94,0</b>
23 cm	Sable $\phi = 0,8 - 2,5$ mm	<b>Rendement minimum obtenu (%) :</b>	<b>46,0</b>
10 cm	Gravier quartz $\phi = 25 - 50$ mm	Teneur maximum mesurée à l'entrée (mg/l) :	3,0
		Teneur minimum mesurée à l'entrée (mg/l) :	1,6
		Teneur maximum mesurée à la sortie (mg/l) :	1,3
		Teneur minimum mesurée à la sortie (mg/l) :	0,1

Période du 6/12/91 au 3/01/92 ( Fonctionnement de haut en bas)

15 cm	Gravier quartz $\phi = 25 - 50$ mm	<b>Rendement maximum obtenu (%) :</b>	<b>80,0</b>
40 cm	Sable $\phi = 0,8 - 0,5$ mm	<b>Rendement minimum obtenu (%) :</b>	<b>55,0</b>
10 cm	Gravier quartz $\phi = 25 - 50$ mm	Teneur maximum mesurée à l'entrée (mg/l) :	3,7
		Teneur minimum mesurée à l'entrée (mg/l) :	1,6
		Teneur maximum mesurée à la sortie (mg/l) :	1,1
		Teneur minimum mesurée à la sortie (mg/l) :	0,6

Période du 3/01/92 au 17/02/92 ( Fonctionnement de haut en bas)

20 cm	Gravier quartz $\phi = 25 - 50$ mm	<b>Rendement maximum obtenu (%) :</b>	<b>66,0</b>
36 cm	Sable $\phi = 0,8 - 0,5$ mm	<b>Rendement minimum obtenu (%) :</b>	<b>42,0</b>
10 cm	Gravier quartz $\phi = 25 - 50$ mm	Teneur maximum mesurée à l'entrée (mg/l) :	1,9
		Teneur minimum mesurée à l'entrée (mg/l) :	1,3
		Teneur maximum mesurée à la sortie (mg/l) :	0,7
		Teneur minimum mesurée à la sortie (mg/l) :	0,6

Période du 17/02/92 au 13/03/92 ( Fonctionnement de haut en bas)

10 cm	Gravier quartz $\phi = 25 - 50$ mm	<b>Rendement maximum obtenu (%):</b>	<b>93,0</b>
15 cm	Gravier latéritique $\phi = 5 - 8$ mm	<b>Rendement minimum obtenu (%):</b>	<b>77,0</b>
20 cm	Gravier latéritique $\phi = 2 - 4$ mm	Teneur maximum mesurée à l'entrée (mg/l):	5,0
30 cm	Sable $\phi = 0,8 - 0,5$ mm	Teneur minimum mesurée à l'entrée (mg/l):	2,8
10 cm	Gravier quartz $\phi = 25 - 50$ mm	Teneur maximum mesurée à la sortie (mg/l):	0,4
		Teneur minimum mesurée à la sortie (mg/l):	0,1

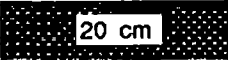
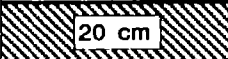
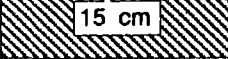
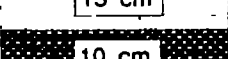
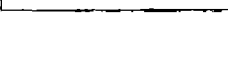
Période du 16/03/92 au 9/04/92 ( Fonctionnement de haut en bas)

20 cm	Gravier quartz $\phi = 25 - 50$ mm	<b>Rendement maximum obtenu (%):</b>	<b>94,0</b>
20 cm	Gravier latéritique $\phi = 5 - 8$ mm	<b>Rendement minimum obtenu (%):</b>	<b>74,0</b>
20 cm	Gravier latéritique $\phi = 2 - 4$ mm	Teneur maximum mesurée à l'entrée (mg/l):	2,8
24 cm	Sable $\phi = 0,8 - 0,5$ mm	Teneur minimum mesurée à l'entrée (mg/l):	1,2
10 cm	Gravier quartz $\phi = 25 - 50$ mm	Teneur maximum mesurée à la sortie (mg/l):	0,3
		Teneur minimum mesurée à la sortie (mg/l):	0,1

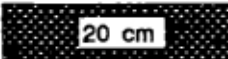
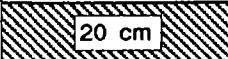
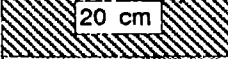
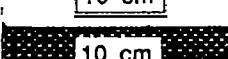
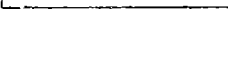
Période du 9/04/92 au 28/04/92 ( Fonctionnement de haut en bas)

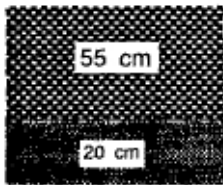
20 cm	Gravier quartz $\phi = 25 - 50$ mm	<b>Rendement maximum obtenu (%):</b>	<b>98,0</b>
20 cm	Gravier latéritique $\phi = 5 - 8$ mm	<b>Rendement minimum obtenu (%):</b>	<b>92,0</b>
20 cm	Gravier latéritique $\phi = 2 - 4$ mm	Teneur maximum mesurée à l'entrée (mg/l):	5,7
20 cm	Sable $\phi = 0,8 - 0,5$ mm	Teneur minimum mesurée à l'entrée (mg/l):	2,5
10 cm	Gravier quartz $\phi = 25 - 50$ mm	Teneur maximum mesurée à la sortie (mg/l):	0,5
		Teneur minimum mesurée à la sortie (mg/l):	0,2

Période du 28/04/92 au 25/05/92 ( Fonctionnement de haut en bas )

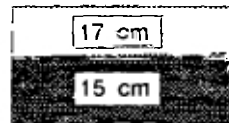
	Gravier quartz $\phi = 25 - 50 \text{ mm}$	<b>Rendement maximum obtenu (%):</b>	<b>77,0</b>
	Gravier latéritique $\phi = 5 - 8 \text{ mm}$	<b>Rendement minimum obtenu (%):</b>	<b>57,0</b>
	Gravier latéritique $\phi = 2 - 4 \text{ mm}$	Teneur maximum mesurée à l'entrée (mg/l):	3,7
	Sable $\phi = 0,8 - 0,5 \text{ mm}$	Teneur minimum mesurée à l'entrée (mg/l):	1,2
	Gravier quartz $\phi = 25 - 50 \text{ mm}$	Teneur maximum mesurée à la sortie (mg/l):	0,5
		Teneur minimum mesurée à la sortie (mg/l):	0,9

Période du 25/05/92 au 19/06/92 ( Fonctionnement de haut en bas )

	Gravier quartz $\phi = 25 - 50 \text{ mm}$	<b>Rendement maximum obtenu (%):</b>	<b>68,0</b>
	Gravier latéritique $\phi = 5 - 8 \text{ mm}$	<b>Rendement minimum obtenu (%):</b>	<b>42,0</b>
	Gravier latéritique $\phi = 2 - 4 \text{ mm}$	Teneur maximum mesurée à l'entrée (mg/l):	4,8
	Sable $\phi = 0,8 - 0,5 \text{ mm}$	Teneur minimum mesurée à l'entrée (mg/l):	2,1
	Gravier quartz $\phi = 25 - 50 \text{ mm}$	Teneur maximum mesurée à la sortie (mg/l):	1,6
		Teneur minimum mesurée à la sortie (mg/l):	0,8

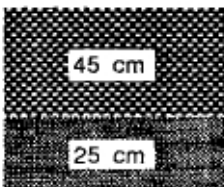
Période du 10/12/90 au 26/01/91**Bassin d'Adsorption**

Gravier quartz  
 $\varnothing = 10 - 25 \text{ mm}$   
 $\varnothing = 25 - 50 \text{ mm}$

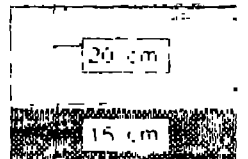
**Bassin de Filtration**

Sable  
 $\varnothing = 0,8 - 2,5 \text{ mm}$   
 Gravier quartz  
 $\varnothing = 25 - 50 \text{ mm}$

<b>Rendement maximum obtenu (%) :</b>	<b>90,0</b>
<b>Rendement minimum obtenu (%) :</b>	<b>43,0</b>
Teneur maximum mesurée à l'entrée (mg/l) :	5,2
Teneur minimum mesurée à l'entrée (mg/l) :	2,5
Teneur maximum mesurée à la sortie (mg/l) :	1,6
Teneur minimum mesurée à la sortie (mg/l) :	0,6

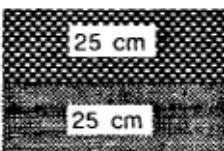
Période du 31/01/91 au 4/04/91**Bassin d'Adsorption**

Gravier quartz  
 $\varnothing = 10 - 25 \text{ mm}$   
 Gravier de quartz  
 $\varnothing = 25 - 50 \text{ mm}$

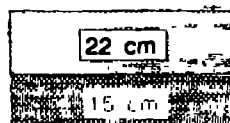
**Bassin de Filtration**

Sable  
 $\varnothing = 0,8 - 2,5 \text{ mm}$   
 Gravier de quartz  
 $\varnothing = 25 - 50 \text{ mm}$

<b>Rendement maximum obtenu (%) :</b>	<b>87,0</b>
<b>Rendement minimum obtenu (%) :</b>	<b>60,0</b>
Teneur maximum mesurée à l'entrée (mg/l) :	6,0
Teneur minimum mesurée à l'entrée (mg/l) :	2,1
Teneur maximum mesurée à la sortie (mg/l) :	1,2
Teneur minimum mesurée à la sortie (mg/l) :	0,4

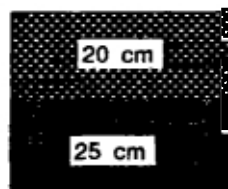
Période du 4/04/91 au 14/06/91**Bassin d'Adsorption**

Gravier quartz  
 $\varnothing = 10 - 25 \text{ mm}$   
 $\varnothing = 25 - 50 \text{ mm}$

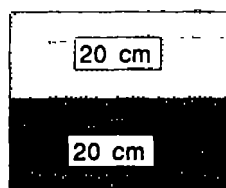
**Bassin de Filtration**

Sable  
 $\varnothing = 0,8 - 2 \text{ mm}$   
 Gravier de quartz  
 $\varnothing = 25 - 50 \text{ mm}$

<b>Rendement maximum obtenu (%) :</b>	<b>89,0</b>
<b>Rendement minimum obtenu (%) :</b>	<b>49,0</b>
Teneur maximum mesurée à l'entrée (mg/l) :	11,6
Teneur minimum mesurée à l'entrée (mg/l) :	2,9
Teneur maximum mesurée à la sortie (mg/l) :	1,3
Teneur minimum mesurée à la sortie (mg/l) :	0,9

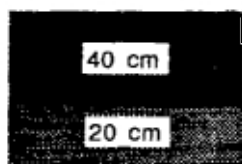
Période du 14/06/91 au 22/08/91**Bassin d'Adsorption**

Gravier quartz  
 $\varnothing = 10 - 25 \text{ mm}$   
 $\varnothing = 25 - 50 \text{ mm}$

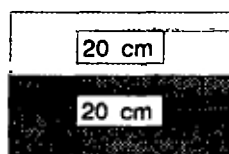
**Bassin de Filtration**

Sable  
 $\varnothing = 0.8 - 2 \text{ mm}$   
 Gravier de quartz  
 $\varnothing = 25 - 50 \text{ mm}$

<b>Rendement maximum obtenu (%) :</b>	<b>98,0</b>
<b>Rendement minimum obtenu (%) :</b>	<b>76,0</b>
Teneur maximum mesurée à l'entrée (mg/l) :	33,5
Teneur minimum mesurée à l'entrée (mg/l) :	8,6
Teneur maximum mesurée à la sortie (mg/l) :	0,5
Teneur minimum mesurée à la sortie (mg/l) :	3,0

Période du 22/08/91 au 18/11/91**Bassin d'Adsorption**

Gravier quartz  
 $\varnothing = 10 - 25 \text{ mm}$   
 $\varnothing = 25 - 50 \text{ mm}$

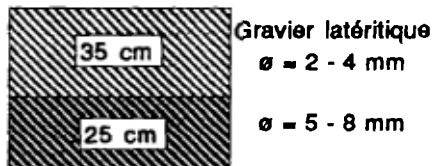
**Bassin de Filtration**

Sable  
 $\varnothing = 0.8 - 2 \text{ mm}$   
 Gravier de quartz  
 $\varnothing = 25 - 50 \text{ mm}$

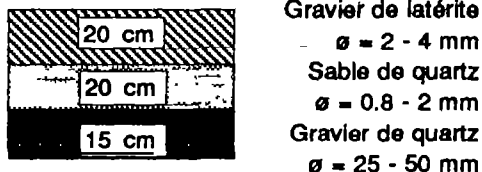
<b>Rendement maximum obtenu (%) :</b>	<b>97,0</b>
<b>Rendement minimum obtenu (%) :</b>	<b>66,0</b>
Teneur maximum mesurée à l'entrée (mg/l) :	28,4
Teneur minimum mesurée à l'entrée (mg/l) :	3,8
Teneur maximum mesurée à la sortie (mg/l) :	0,5
Teneur minimum mesurée à la sortie (mg/l) :	1,3

Période du 18/11/91 au 25/02/92

**Bassin d'Adsorption**



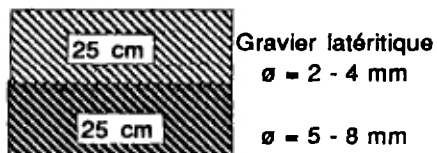
**Bassin de Filtration**



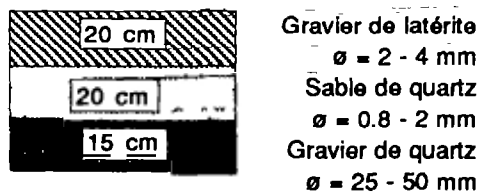
<b>Rendement maximum obtenu (%) :</b>	<b>97,0</b>
<b>Rendement minimum obtenu (%) :</b>	<b>65,0</b>
Teneur maximum mesurée à l'entrée (mg/l) :	9,8
Teneur minimum mesurée à l'entrée (mg/l) :	3,9
Teneur maximum mesurée à la sortie (mg/l) :	1,4
Teneur minimum mesurée à la sortie (mg/l) :	0,2

Période du 25/02/92 au 9/04/92

**Bassin d'Adsorption**

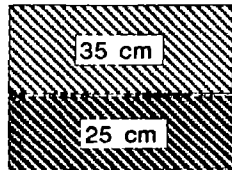


**Bassin de Filtration**



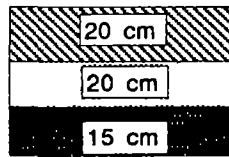
<b>Rendement maximum obtenu (%) :</b>	<b>99,0</b>
<b>Rendement minimum obtenu (%) :</b>	<b>64,0</b>
Teneur maximum mesurée à l'entrée (mg/l) :	12,4
Teneur minimum mesurée à l'entrée (mg/l) :	2,5
Teneur maximum mesurée à la sortie (mg/l) :	2,3
Teneur minimum mesurée à la sortie (mg/l) :	0,1



Période du 9/04/92 au 22/06/92**Bassin d'Adsorption**

Gravier latéritique  
 $\varnothing = 3 - 5 \text{ mm}$

$\varnothing = 5 - 8 \text{ mm}$

**Bassin de Filtration**

Gravier de latérite  
 $\varnothing = 2 - 4 \text{ mm}$

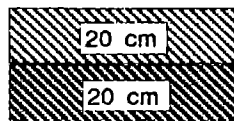
Sable de quartz

$\varnothing = 0.8 - 2 \text{ mm}$

Gravier de quartz

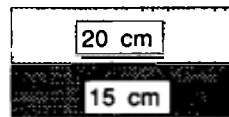
$\varnothing = 25 - 50 \text{ mm}$

<b>Rendement maximum obtenu (%) :</b>	<b>93,0</b>
<b>Rendement minimum obtenu (%) :</b>	<b>53,0</b>
Teneur maximum mesurée à l'entrée (mg/l) :	9,4
Teneur minimum mesurée à l'entrée (mg/l) :	2,9
Teneur maximum mesurée à la sortie (mg/l) :	1,1
Teneur minimum mesurée à la sortie (mg/l) :	0,3

Période du 22/06/92 au 1/09/92**Bassin d'Adsorption**

Gravier latéritique  
 $\varnothing = 3 - 5 \text{ mm}$

$\varnothing = 5 - 8 \text{ mm}$

**Bassin de Filtration**

Sable de quartz

$\varnothing = 0.8 - 2 \text{ mm}$

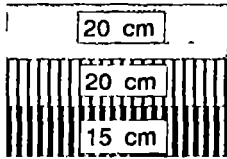
Gravier de quartz

$\varnothing = 25 - 50 \text{ mm}$

<b>Rendement maximum obtenu (%) :</b>	<b>96,0</b>
<b>Rendement minimum obtenu (%) :</b>	<b>67,0</b>
Teneur maximum mesurée à l'entrée (mg/l) :	14,9
Teneur minimum mesurée à l'entrée (mg/l) :	4,4
Teneur maximum mesurée à la sortie (mg/l) :	2,9
Teneur minimum mesurée à la sortie (mg/l) :	0,7

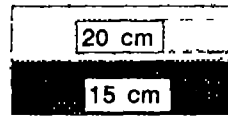
Période du 1/09/92 au 24/11/91

**Bassin d'Adsorption**



Sable  
 $\varnothing = 0.8 - 2 \text{ mm}$   
 Gravier granite  
 $\varnothing = 3 - 5 \text{ mm}$   
 Gravier granite  
 $\varnothing = 5 - 8 \text{ mm}$

**Bassin de Filtration**

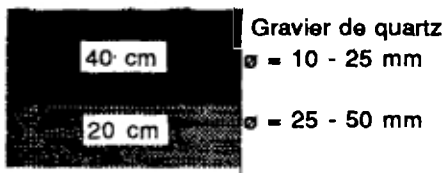


Sable  
 $\varnothing = 0.8 - 2 \text{ mm}$   
 Gravier de quartz  
 $\varnothing = 25 - 50 \text{ mm}$

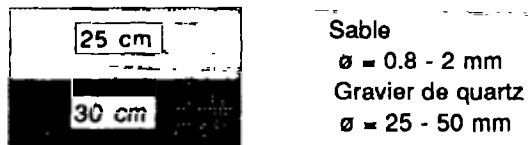
<b>Rendement maximum obtenu (%) :</b>	<b>83,0</b>
<b>Rendement minimum obtenu (%) :</b>	<b>52,0</b>
Teneur maximum mesurée à l'entrée (mg/l) :	11,5
Teneur minimum mesurée à l'entrée (mg/l) :	2,9
Teneur maximum mesurée à la sortie (mg/l) :	3,8
Teneur minimum mesurée à la sortie (mg/l) :	1,1

Période du 9/04/92 au 8/05/92

**Bassin d'Adsorption**



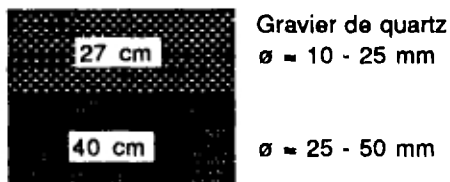
**Bassin de Filtration**



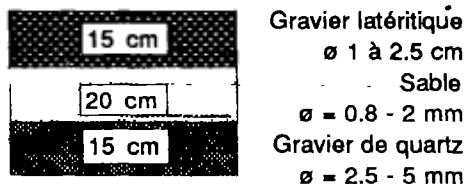
<b>Rendement maximum obtenu (%) :</b>	<b>90,0</b>
<b>Rendement minimum obtenu (%) :</b>	<b>46,0</b>
Teneur maximum mesurée à l'entrée (mg/l) :	3,9
Teneur minimum mesurée à l'entrée (mg/l) :	1,2
Teneur maximum mesurée à la sortie (mg/l) :	0,5
Teneur minimum mesurée à la sortie (mg/l) :	0,1

Période du 8/05/92 au 29/07/92

**Bassin d'Adsorption**



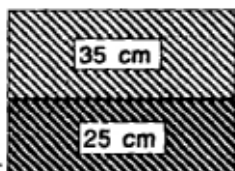
**Bassin de Filtration**



<b>Rendement maximum obtenu (%) :</b>	<b>89,0</b>
<b>Rendement minimum obtenu (%) :</b>	<b>64,0</b>
Teneur maximum mesurée à l'entrée (mg/l) :	6,8
Teneur minimum mesurée à l'entrée (mg/l) :	1,1
Teneur maximum mesurée à la sortie (mg/l) :	0,6
Teneur minimum mesurée à la sortie (mg/l) :	0,3

Période du 28/07/92 au 25/08/92

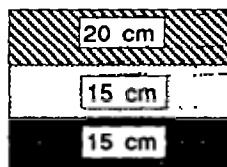
**Bassin d'Adsorption**



Gravier de quartz  
 $\sigma = 1 \text{ à } 2.5 \text{ mm}$

$\sigma = 2.5 \text{ à } 5 \text{ mm}$

**Bassin de Filtration**



Gravier de latérite  
 $\sigma = 2 - 4 \text{ mm}$

Sable

$\sigma = 0.8 - 2 \text{ mm}$

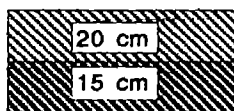
Gravier de quartz

$\sigma = 25 - 50 \text{ mm}$

Rendement maximum obtenu (%):	76,0
Rendement minimum obtenu (%):	53,0
Teneur maximum mesurée à l'entrée (mg/l):	5,1
Teneur minimum mesurée à l'entrée (mg/l):	2,7
Teneur maximum mesurée à la sortie (mg/l):	0,8
Teneur minimum mesurée à la sortie (mg/l):	0,4

Période du 25/08/92 au 3/12/92

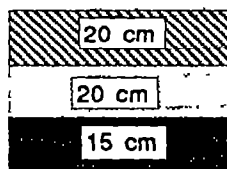
**Bassin d'Adsorption**



Gravier de quartz  
 $\sigma = 1 \text{ à } 2.5 \text{ mm}$

$\sigma = 2.5 \text{ à } 5 \text{ mm}$

**Bassin de Filtration**



Gravier de latérite  
 $\sigma = 2 - 4 \text{ mm}$

Sable

$\sigma = 0.8 - 2 \text{ mm}$

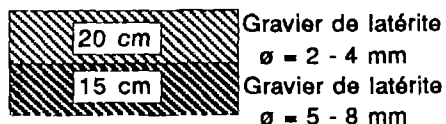
Gravier de quartz

$\sigma = 25 - 50 \text{ mm}$

Rendement maximum obtenu (%):	65,0
Rendement minimum obtenu (%):	48,0
Teneur maximum mesurée à l'entrée (mg/l):	3,9
Teneur minimum mesurée à l'entrée (mg/l):	1,7
Teneur maximum mesurée à la sortie (mg/l):	1,2
Teneur minimum mesurée à la sortie (mg/l):	0,8

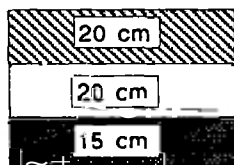
Période du 3/12/92 au 19/01/93

**Bassin d'Adsorption**



Gravier de latérite  
 $\varnothing = 2 - 4 \text{ mm}$   
 Gravier de latérite  
 $\varnothing = 5 - 8 \text{ mm}$

**Bassin de Filtration**

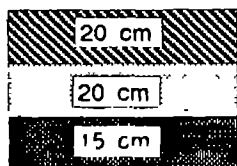


Gravier de latérite  
 $\varnothing = 2 - 4 \text{ mm}$   
 Sable  
 $\varnothing = 0.8 - 2 \text{ mm}$   
 Gravier de quartz  
 $\varnothing = 25 - 50 \text{ mm}$

<b>Rendement maximum obtenu (%) :</b>	<b>96,0</b>
<b>Rendement minimum obtenu (%) :</b>	<b>71,0</b>
Teneur maximum mesurée à l'entrée (mg/l) :	5,6
Teneur minimum mesurée à l'entrée (mg/l) :	2,9
Teneur maximum mesurée à la sortie (mg/l) :	1,1
Teneur minimum mesurée à la sortie (mg/l) :	0,3

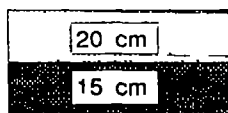
Période du 19/01/93 au 4/03/93

**Bassin d'Adsorption**



Gravier de latérite  
 $\varnothing = 5 - 8 \text{ mm}$   
 Sable de quartz  
 $\varnothing = 0.8 - 2 \text{ mm}$   
 Gravier de latérite  
 $\varnothing = 25 - 50 \text{ mm}$

**Bassin de Filtration**



Sable de quartz  
 $\varnothing = 0.8 - 2 \text{ mm}$   
 Gravier de quartz  
 $\varnothing = 25 - 50 \text{ mm}$

<b>Rendement maximum obtenu (%) :</b>	<b>98,0</b>
<b>Rendement minimum obtenu (%) :</b>	<b>85,0</b>
Teneur maximum mesurée à l'entrée (mg/l) :	4,5
Teneur minimum mesurée à l'entrée (mg/l) :	1,7
Teneur maximum mesurée à la sortie (mg/l) :	0,6
Teneur minimum mesurée à la sortie (mg/l) :	0,1

1

1271  
1272  
1273  
1274  
1275  
1276  
1277  
1278  
1279  
1280  
1281  
1282  
1283  
1284  
1285  
1286  
1287  
1288  
1289  
1290  
1291  
1292  
1293  
1294  
1295  
1296  
1297  
1298  
1299  
1300

Composition : **CREPA**  
Impression : **C.N.P.M.S.**  
Centre National de Production de Manuels Scolaires  
B.P. : 135 Porto-Novo - Tél. : (229) 21-38-83 / 21-24-50  
Fax : (229) 21-36-50 - (Rép. du Bénin)

