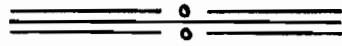


ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE THIÈS



DÉPARTEMENT DE GÉNIE CIVIL

GC.0315

PROJET DE FIN D'ÉTUDES.

TITRE: ÉTUDE D'UN SYSTÈME
DE FILTRATION À SABLE LENTE
POUR L'ALIMENTATION EN EAU
DE KEUR MOMAR SARR

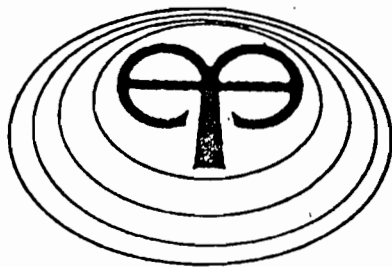
AUTEUR: Mohamed Mahrouf DIOP

DIRECTEUR: FRANÇOIS TREMBLAY

JUIN 1985

École polytechnique
de Thiès

**ECOLE
POLYTECHNIQUE DE TRIES**



A mes chers parents

A tous mes camarades

A tous les Ingénieurs dignes de ce nom.

REMERCIEMENTS

=====

Je tiens tout d'abord à témoigner ma profonde gratitude à mon Directeur de Projet Monsieur FRANCOIS TREMBLAY pour sa disponibilité et sa grande contribution à l'élaboration de ce projet. Mes remerciements vont aussi à :

- Monsieur GERVAIS LECLAIR, Technicien au Laboratoire d'Hydraulique et de Génie Sanitaire à l'E.P.T. ;
- Monsieur BORNAT, Technicien de mécanique des sols à l'E.P.T. ;
- Monsieur CISSE, Chef du C.E.R. de Keur Momar Sarr ;
- Monsieur JEAN DUQUETTE, Chef de Service Financier au Centre de Recherche pour le Développement International (C.R.D.I.) ;
- Monsieur BABA LY, Ingénieur au C.D.E. DAKAR ;
- Mademoiselle DIARRA SANG, Secrétaire de Direction à la Commune de THIES ;
- Tout le personnel du Church World Service ;
- Tous mes camarades pour leur soutien, notamment NOUFOU BEREMWODOUGOU ET ALPHA SANG.

Enfin, je remercie toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réussite de ce projet.

II (I) M M A I R E

L'approvisionnement public en eau saine et suffisante constitue un problème crucial dans nos pays sous-développés. De nombreuses épidémies de maladies d'origine hydrique sont en train de ravager la population sahélienne qui est de plus en plus affamée donc vulnérable.

Ceci justifie l'orientation de ce projet de fin d'études vers le traitement de l'eau du lac de Guiers avec l'utilisation des matériaux locaux dans le cadre du développement intégré de la communauté rurale de Keur Momar Sarr.

La situation économique actuelle du Sénégal et particulièrement celle de la région de Louga qui est totalement désertifiée explique le choix de la filtration lente sur sable comme moyen de traitement.

Cet ouvrage se compose de l'exposé des données classiques relatives à l'aménagement des systèmes de filtration, de l'analyse des systèmes, du dimensionnement des ouvrages qui pourront être implantés à Keur Momar Sarr en utilisant au maximum les ressources locales, de la présentation des résultats des essais, de l'évaluation des coûts et des recommandations. Avant tout, il est destiné aux responsables du C.W.S. (Church World Service).

Cependant, il peut être utilisé dans tous les pays du Sahel, dans tout le tiers-monde et même dans le monde entier, pourvu que les caractéristiques des matériaux locaux soient conformes aux normes de référence.

TABLE DES MATIÈRES

<u>PRELIMINAIRES</u>	<u>PAGES</u>
- Dédicaces :	i
- Remerciements	ii
- Sommaire	iii
<u>CHAPITRE 1</u> : INTRODUCTION	1
<u>CHAPITRE 2</u> : ANALYSE DE L'EAU	2
A - Les caractéristiques des eaux de consommation	2
I Examen physique de l'eau	2
II Mesures physiques	4
III Examen bactériologique de l'eau	6
B - Les maladies hydriques	8
C - Les différents procédés de traitement des eaux destinées à la consommation	9
I Le prétraitement	9
II La coagulation, floculation, décantation ...	10
III La filtration	10
IV Procédés divers	10
<u>CHAPITRE 3</u> : LA FILTRATION	11
A - Généralités	11
B - Les différents systèmes de filtration en profondeur	11
C - Colmatage et lavage du matériau filtrant .	12
D - Choix du mode de filtration	12

CHAPITRE 4 : THEORIE DE L'ECOULEMENT DANS LES MILIEUX POREUX	14
A - Hydraulique de la filtration	14
B - Caractéristiques physiques du milieu poreux ..	15
C - Nature du milieu poreux	16
D - Choix de la granulométrie de la couche filtrante	17
E - L'épaisseur de la couche filtrante	17
CHAPITRE 5 : THEORIE DE LA FILTRATION LENTE SUR SABLE	18
A - Principe de fonctionnement	18
I. Le processus de filtration	18
II. Effet des algues sur les filtres	21
III. L'action de la filtration sur la qualité de l'eau livrée aux consommateurs	22
B - Les détails de conception des filtres	23
I. Réservoir d'eau surnageante	24
II. Le lit filtrant	25
III. Le système de drainage	26
IV. Le bassin filtrant	26
V. Le système de commande des filtres	28
VI. Couverture des filtres	29
VII. Exploitation et entretien	30
VIII. Nettoyage des filtres	31
CHAPITRE 6 : CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT	32
A - Analyse des ressources locales disponibles ...	32
I. La qualité de l'eau du lac de Guiers	32
II. La qualité du sable de la région	32
III. La qualité du gravier support	38
B - Le désign proprement dit	38
I. Le filtre familial	39
II. Le filtre collectif	43

<u>CHAPITRE 7</u> : FONCTIONNEMENT ET ENTRETIEN DES INS-	
TALLATIONS	50
A - Le filtre inidividuel	50
I. L'exploitation du système	50
II. Entretien du filtre	50
B - Le grand filtre	51
I. Exploitation	51
II. Nettoyage du filtre	51
III. La désinfection de l'effluent	52
<u>CHAPITRE 8</u> : L E S E S S A I S	54
A - Le mode opératoire	54
B -. Les résultats des essais	54
C - Courbes représentatives	54
D - Interprétation des résultats expérimentaux ...	63
<u>CHAPITRE 9</u> : ETUDE ECONOMIQUE	65
A - Filtre familial	65
B - Filtre collectif	66
<u>CONCLUSION</u>	68
<u>DISCUSSIONS ET RECOMMANDATIONS</u>	70
<u>A N N E X E S</u>	
<u>ANNEXE I</u> : Caractéristiques de l'eau	72
<u>ANNEXE II</u> : Résultats des analyses granulométriques ..	78
<u>ANNEXE III</u> : Résultats des expériences hydrauliques .	94
<u>BIBLIOGRAPHIE</u>	98

CHAPITRE I - INTRODUCTION

Les Nations Unies ont fait des années 1980-1990 la décennie internationale de l'eau potable et de l'assainissement. "Leau saine pour tous" est un objectif encore lointain pour bien des Africains : 75 % de la population rurale et 32 % de la population urbaine du continent (10). Au Sénégal, et particulièrement dans la région du Nord, du fait de la sécheresse et de l'avancée du désert, le problème de l'alimentation en eau potable est placé au rang des priorités. C'est vers une recherche de solutions adaptées aux capacités financières du pays qu'il faut s'orienter, tant en frais de premier investissement qu'en frais d'exploitation.

Cependant, l'origine de l'eau, la connaissance de ses caractéristiques physiques, chimiques et bactériologiques ainsi que de son éventuelle pollution, comparée aux caractéristiques requises pour une eau destinée à la boisson, permettent de juger de la nécessité de traiter l'eau choisie. Plusieurs procédés de traitement peuvent être nécessaires et on doit rechercher leur combinaison la plus judicieuse, tant au point de vue de l'élimination de ces défauts que des conditions locales d'installation.

Ainsi se présente le dossier de ce projet de recherche qui aura comme lieu de première application la communauté de Keur Momar Sarr. C'est ce qui explique le choix du lac de Guiers comme source d'approvisionnement en eau brute.

On vise donc à prévoir des aménagements qui pourront améliorer la qualité de la vie en milieu rural et à inciter les populations à prendre conscience de la nécessité impérieuse de l'éducation sanitaire.

CHAPITRE 2 - ANALYSE DE L'EAU

Le premier problème qui se pose aux responsables de l'alimentation publique en eau de consommation, réside dans le choix de l'origine de l'eau ; eau souterraine prélevée à plus ou moins grande profondeur, eau superficielle de rivières ou de lacs, ou éventuellement eau de mer.

Ce choix n'est pas systématique, car certaines régions ne disposent pas d'eau souterraine en qualité ou quantité suffisante, ni sur place, ni à distance raisonnable. D'autres voisines des côtes n'ont ni eau souterraine, ni eau de surface et le recours à l'eau de mer est pratiquement obligatoire.

Ainsi le choix dans cette étude est dirigée vers le lac de Guiers vue la situation géographique de la région de Keur Momar Sarr.

Ce choix étant effectué, il s'avère nécessaire de procéder à l'analyse de l'eau afin de choisir un système de traitement efficace pour le site considéré.

A. LES CARACTERISTIQUES DES EAUX DE CONSOMMATION

I - EXAMEN PHYSIQUE DE L'EAU

L'eau à l'état naturel présente un certain nombre de caractéristiques physiques qui sont impropres à l'alimentation.

1°) LA TEMPERATURE

Elle doit être comprise entre 9° et 12° et ne doit jamais dépasser 15°C (11). Une augmentation de température peut entraîner une modification de la saveur due à l'accélération des phénomènes de décomposition biologique de la matière organique dans l'eau.

2°) LA TURBIDITE

La turbidité est l'effet optique causé par les phénomènes de dispersion et d'interférence des rayons lumineux lorsqu'ils passent à travers une eau chargée de petites particules en suspension. Il importe de la mesurer, car c'est l'un des facteurs visuels de l'appréciation d'une eau par le consommateur. Ainsi le degré de turbidité dépend de la concentration, de la finesse ou de la dispersion des matières en suspension, et des caractéristiques d'absorption lumineuse de la suspension. Toute turbidité supérieure à 5 unités est aisément décelée par le consommateur; c'est un indice révélateur de conditions d'épuration peu satisfaisantes.

3°) LA COULEUR

La couleur de l'eau est généralement due à l'entraînement de substances colorantes provenant de l'humus sylvestre ou de dépôts de matières végétales. Elle est dite vraie ou réelle lorsqu'elle subsiste après l'élimination des matières en suspension; elle est dite apparente lorsque les matières en suspension y ajoutent leur propre coloration. Le consommateur trouve généralement agréable du point de vue de la couleur, l'eau à laquelle est habituée la collectivité dans laquelle il vit. Les critères d'appréciation se basent sur la comparaison avec des tubes témoins. On établit une échelle colorimétrique par dilution. Ainsi une unité de couleur correspond à 1 mg de platine par litre d'eau (1).

L'eau d'alimentation ne devrait pas dépasser 20 unités de l'échelle colorimétrique ainsi définie, mais il est souhaitable qu'elle soit inférieure à 5 unités (3).

4°) L'ODEUR

L'odeur d'une eau est due à la présence de composés volatils à des teneurs extrêmement faibles. Certains de ces composés se produisent par décomposition de matières orga-

niques et se trouvent généralement dans les eaux superficielles.

L'intensité d'une odeur et son désagrément dépendent de sa nature. Il y a des odeurs de terre, de moisi et même de putréfaction. Leur mesure, par des procédés analytiques ne donne pas satisfaction. On fait plutôt confiance à l'odorat. Mais les sensations olfactives dépendent de l'opérateur, ce qui rend les résultats très variables.

5°) LE GOUT

Le goût de l'eau est généralement en rapport étroit avec son odeur; il est dû aux mêmes causes, mais certaines substances minérales en solution peuvent altérer la saveur de l'eau sans pour autant lui communiquer d'odeur.

Le seul procédé possible pour les essais gustatifs est de goûter l'eau sur la pointe et à la base de la langue. Ainsi le bon goût d'une eau indique la mesure dans laquelle celle-ci paraîtra acceptable au consommateur, bien que comme dans le cas de l'odeur, une modification des caractéristiques puisse susciter des réclamations de la part des usagers habitués à une saveur déterminée.

II - MESURES CHIMIQUES

1°) LA DURETE

L'eau est un solvant universel qui dissout différentes quantités de substances minérales. Celle de ces substances qui produisent la dureté ne compromettent pas la qualité hygiénique de l'eau, mais sont importantes pour son utilisation domestiques, notamment le lavage et le chauffage. Les sels de calcium et de magnésium qui sont les principaux constituants minéraux, réagissent avec le savon pour donner des composés insolubles ou en grumeaux.

De préférence, la dureté des eaux destinées aux usages domestiques ne doit pas excéder 100 ppm. Toute eau dont la dureté dépasse 300 ppm. est impropre aux usages courants, néanmoins, dans bien des régions, les populations sont contraintes d'utiliser de telles eaux, l'adoucissement n'étant pas économiquement praticable. Par ailleurs, les eaux très douces, de dureté inférieure à 30 ppm sont généralement corrosives. On les traite alors le plus souvent par la chaux (5).

L'eau ayant passé au travers d'un terrain, se charge d'éléments minéraux qui se trouvent dans les couches rencontrées (terrain calcaire, salifère, cristallin). L'eau sera caractérisée par son anion et son cation prédominant. On dit qu'une eau est minérale quand sa composition chimique exceptionnelle lui donne des propriétés particulières qui la rendent différente des eaux d'alimentation habituelles. La minéralisation totale d'une eau d'alimentation (ou salinité) ne devrait pas dépasser 2 g par litre (3).

La détermination de l'alcalinité fournit une estimation des constituants basiques. Pour lutter contre l'alcalinité, on doit procéder par coagulation avec une proportion de 20 ppm de sulfate d'alumine pour 10 ppm d'alcalinité (3). Ainsi l'eau devient moins corrosive et donc plus douce.

3°) LA RESISTIVITE ELECTRIQUE

C'est fonction de la concentration en sels dissous, ce qui permet de mesurer globalement la minéralisation par la résistivité électrique : (d'après le pont de Wheatstone).

$$\text{Minéralisation (mg/l)} = \frac{720\ 000}{\text{résistivité}}$$

MINERALISATION	RESISTIVITE (ohm - cm)
très faible	10.000
faible	5000 - 3000
moyenne	3000 - 1500
importante	1500 - 1000
excessive	1000

TABLEAU 1 : Minéralisation en fonction de la résistivité.

4°) **LE PH** :

La concentration en ions hydrogène, ou PH, indique l'intensité de la réaction acide ou alcaline (basique) de l'eau. Le Ph de la plupart des eaux naturelles est comprises entre 5.6 et 8.6 (2).

L'agressivité et la capacité calcifiante d'une eau est fonction de son Ph. On réduit l'agressivité d'une eau par addition d'alcalis (on augmente ainsi son alcalinité et on élève son Ph).

5°) **LES SUBSTANCES CHIMIQUES TOXIQUES** :

(voir annexe I)

6°) **LES SUBSTANCES INDESIRABLES** :

(voir annexe I).

III - EXAMEN BACTERIOLOGIQUE DE L'EAU :

L'analyse bactériologique vise à déterminer le degré de pollution des eaux de consommation au moment du prélèvement des échantillons. Elle renseigne ainsi sur les possibilités de transmission de maladies par l'eau examinée.

Les bactéries sont des micro-organismes unicellulaires du règne végétal. Il en existe de nombreuses espèces que l'on divise en deux classes principales.

- Les saprophytes qui, vivant aux dépens des matières organiques mortes, sont inoffensifs mais nécessaires à la décomposition de ces matières.

- Les parasites qui ont pour habitat naturel l'organisme humain et animal. Parmi ces parasites figurent les micro-organismes qui provoquent des maladies spécifiques chez l'homme.

L'examen bactériologique courant d'une eau consiste à déterminer approximativement le nombre total de bactéries qu'elle contient. Les services des eaux utilisent deux groupes d'organismes indicateurs : celui des entérocoques du type streptococcus faecalis et celui des germes coliformes (ainsi dénommés parce qu'ils viennent du côlon ou gros intestin de l'homme), du type Escherichia coli. Les autres germes coliformes peuvent provenir du sol ou des plantes. Dans tous les cas, ces micro-organismes sont normalement absents de l'eau potable; leur présence doit être considérée comme un indice de pollution.

La recherche des germes coliformes permet de déterminer par le calcul statistique le nombre le plus probable (MPN) de micro-organismes de ce type dans 100 ml d'échantillon.

Au cours de ces dernières années, une nouvelle technique de lutte anti-bactérienne, celle de la membrane filtrante a été mise au point.

On ne saurait définir de norme pour la numération totale, mais celle-ci devrait généralement être inférieure à 500 (3).

Ainsi la détermination de la potabilité d'une eau doit être complétée par une analyse bactériologique.

B - LES MALADIES HYDRIQUES

Le premier progrès important réalisé en matière d'assainissement du milieu est dû à la découverte du rôle de l'eau dans la transmission de la fièvre typhoïde et du choléra, à l'efficacité de la filtration et, plus tard, au recours à la chloration pour lutter contre ces maladies intestinales. Ces connaissances ont été mises en application d'une manière si efficace dans de nombreux pays que la fréquence de ces maladies a été considérablement réduite; mais il reste beaucoup à faire dans bien des régions où la prévalence des maladies à transport hydrique est encore très grande. Il faut donc développer la mise en application des procédés de captage, de traitement et de distribution de l'eau à la population.

Les principales maladies bactériennes à transport hydrique sont :

- Les fièvres typhoïdes causées par le bacille *Salmonella typhosa*.

- La dysenterie : le bacille *Shigella dysenteriae*.

- Le choléra créé par le *Vibrio cholerae* découvert par Koch.

- Certains troubles gastro-intestinaux : l'action des vers est loin d'être négligeable :

- Le teni

- Le *Bilharzia haematobia* qui provoque une grave maladie très répandue dans les régions chaudes : la bilharziose ou hématurie d'Égypte (urine sanglante).

- *Ankylostoma duodenale* : petit ver de 6 à 20 mm de long qui vit dans l'intestin, perce les muqueuses et provoque des hémorragies et diarrhées très persistantes.

Les infections virales d'origine hydrique de même l'ingestion continuelle de substances résiduelles qui passent à travers les traitements conventionnels sont de nouveaux facteurs que l'ingénieur doit considérer dans l'élaboration de ses avant-projets.

C - LES DIFFERENTS PROCÉDES DE TRAITEMENT DES EAUX DESTINÉES A LA CONSOMMATION

I - LE PRETRAITEMENT :

Les eaux brutes doivent généralement subir, avant leur traitement proprement dit, un prétraitement qui comporte un certain nombre d'opérations physiques ou mécaniques. On distingue :

1°) Le dégrillage qui permet de protéger la station contre l'arrivée intempestive de gros objets flottants, et d'évacuer facilement les matières volumineuses charriées par l'eau brute.

2°) Le dessablage qui a pour but d'extraire des eaux brutes, les graviers, sables et particules minérales plus ou moins fines, de façon à éviter les dépôts dans les canaux et conduites.

3°) Le débouillage : c'est une opération effectuée sur des eaux particulièrement chargées destinées à la consommation.

C'est une précécantation ayant pour but d'éliminer les sables fins et les limons lorsque l'eau brute dépasse une teneur de 10 g/l en matières en suspension.

4°) Le tamisage qui est une filtration sur toile est utilisable dans de nombreux domaines du traitement de l'eau. Suivant la dimension des mailles de la toile, on distingue le microtamisage et le macrotamisage.

II - LA COAGULATION, FLOCCULATION, DECANTATION :

- La coagulation consiste à introduire dans l'eau un coagulant donnant naissance à un précipité.

- La formation du floc étant amorcée par le coagulant, il est nécessaire d'accroître son volume, son poids et surtout sa cohésion par la flocculation.

- La décantation est considérée comme la première opération filtrante.

III - LA FILTRATION : (voir chapitre 3)

IV - PROCEDES DIVERS :

1°) La stérilisation : les principaux agents de stérilisation utilisés industriellement sont :

- Le chlore et ses dérivés,
- L'ozone,
- Les rayons ultra-violetes,
- L'argent et le brome employés en traitement d'eau de piscine.

2°) Comme autres procédés restant, on a la modification de l'équilibre calco-carbonique des eaux, la démanganisation et déferrisation, l'adsorption sur le charbon actif et les divers traitements chimiques.

CHAPITRE 3 : LA FILTRATION

A. GENERALITES :

La filtration est un procédé utilisant le passage d'un mélange solide - liquide à travers un milieu poreux (filtre) qui retient les solides et laisse passer les liquides (filtrat). Ce retenu peut se faire soit en surface, soit en profondeur. La filtration en surface s'effectue sur support (mince, épais ou à précouche), tandis que la filtration en profondeur s'effectue sur lit filtrant. C'est ce dernier mode de filtration qui en rapport avec cette étude.

B. LES DIFFERENTS SYSTEMES DE FILTRATION EN PROFONDEUR.

La filtration sur lit filtrant est utilisée dès que la quantité de matières à retenir devient importante et lorsque la dimension des particules contenues dans l'eau est relativement faible. En effet, pour qu'une filtration soit efficace, il faut que ces matières puissent pénétrer profondément dans le lit, et ne pas se bloquer en surface. De plus, il faut que les matériaux composant le lit soient judicieusement choisis, tant en granulométrie, qu'en hauteur de couche pour que le filtrat corresponde à la qualité recherchée.

Enfin l'efficacité d'un filtre est fortement influencée par une parfaite répartition à travers la masse filtrante de l'eau à filtrer et par le mode de régulation de son débit. Ainsi, on distingue 4 types de filtres :

1°) Le filtre lent qui permet l'épuration des eaux de surface sans traitement préalable.

2°) Le filtre rapide qui permet une traversée de l'eau à des vitesses de 4 à 50 m/h. L'action biologique est pratiquement nulle et on distingue :

- La filtration directe où l'eau à filtrer ne subit aucun apport de réactif;

- La filtration avec coagulation d'une eau non décantée au préalable;

- La filtration d'une eau coagulée, flocculée et décantée.

3°) LES FILTRES SOUS PRESSION.

4°) LES FILTRES A CHARGE DE TERRE D'INFUSOIRES.

C - COLMATAGE ET LAVAGE DU MATERIAU FILTRANT :

On appelle colmatage l'obstruction progressive des interstices du matériau filtrant.

Si l'on fonctionne à pression d'alimentation constante, le débit du filtrat baisse à cause du colmatage. La vitesse de colmatage dépend :

- des matières à retenir ; elle est d'autant plus grande que le liquide est plus chargé en matière en suspension,

- de la vitesse de filtration,

- des caractéristiques de l'élément filtrant : dimension des pores, homogénéité, forme du matériau.

Le filtre étant colmaté, il importe de le ramener à son état initial par un lavage efficace et économique dont le mode est lié au type de filtre et à la nature des éléments retenus.

D - CHOIX DU MODE DE FILTRATION :

Le choix entre les divers types de filtration sur support dépend :

- des caractéristiques du liquide à filtrer, de ses impuretés et de leur évolution dans le temps ;

- de la qualité du filtrat à obtenir et des tolérances admises :
- de la qualité des matières à retenir ;
- des conditions d'installation ;
- des possibilités et des moyens disponibles pour le lavage.

Les diverses solutions se différencient par les frais d'investissement et les frais d'exploitation qui sont liés au conditionnement du liquide à filtrer, au mode de lavage, au degré d'automatismes et de contrôle .

La possibilité d'un lavage aisé, efficace et économique est aussi importante dans le choix du filtre que dans l'obtention de la meilleure qualité de filtration, étant donné que cette dernière ne se conservera dans le temps que si le lavage permet de maintenir intact le matériau filtrant.

Ainsi, dans le cadre du projet, nous allons choisir les filtres à sable lent qui ne sont pas de simples tamis destinés à retenir des solides en suspension dans l'eau, mais doivent être conçus de manière à faire intervenir un bon nombre de facteurs favorables au processus d'élimination des particules d'argile colloïdale et de substances colorantes ainsi que les bactéries. Ce modèle de filtre s'adapte très bien aux conditions égyptiennes de Kour Bouat Tarr.

CHAPITRE 4 : THEORIE DE L'ÉCOULEMENT DANS LES MILIEUX POREUX :

L'étude des écoulements dans les milieux poreux montre que la perte de charge subie par un liquide est généralement proportionnelle au débit : c'est là l'énoncé de la loi bien connue de Darcy.

Si l'on veut comprendre ce qui se passe en réalité au cours d'un écoulement de ce type, il est nécessaire de se livrer à un examen attentif du milieu poreux : un assemblage de petits grains de sable constituant une série de micro-cavernes reliées entre elles par d'étroits canaux à travers lesquels circule le fluide. Ainsi, l'écoulement de l'eau dans un milieu poreux dépend :

- des caractéristiques physiques du milieu ;
- de la nature du milieu poreux ;
- de la granulométrie de la couche filtrante ;
- de l'épaisseur de la couche filtrante.

A . HYDRAULIQUE DE LA FILTRATION :

Dans la filtration lente sur sable, la vitesse de l'écoulement de l'eau par gravité est maintenue si faible que l'on peut admettre l'existence de conditions d'écoulement laminaire dans la totalité du lit. La résistance H présentée par un lit filtrant propre obéit donc à la loi de Darcy que traduit l'expression :

$$H = \frac{V_f \cdot h}{K}$$

avec h : épaisseur du lit ;

V_f : vitesse de filtration (quotient du débit horaire par la surface du lit).

K : coefficient de perméabilité (dépende de la tempéra-

ture T , de la porosité F , du facteur de forme ψ et du diamètre spécifique des grains de sable D_s en mm).

L'équation s'établit de la manière suivante :

$$K = 150 (0.72 + 0.028 T) \frac{F^3}{(1-F)^2} \times \psi \times D_s \text{ (en m/h)}.$$

Toutefois, les calculs dans lesquels intervient le diamètre spécifique sont en principe restreints à la filtration rapide pour laquelle la granulométrie du sable doit être contrôlée avec plus de précision que pour la filtration lente.

Avec les matériaux filtrants à grains fins, l'épaisseur du lit filtrant doit donc être maintenue aussi faible que le permet la qualité souhaitée de l'effluent et, à moins que l'eau brute ne soit exceptionnellement claire, il faut éviter les vitesses d'écoulement élevées.

La résistance admissible qui s'oppose à la charge d'eau au-dessus du lit filtrant, ne doit pas excéder 1.0 à 1.5 m dans la conception normale d'un filtre. Le colmatage qui résulte de la filtration, réduit encore davantage la pression mais, comme l'augmentation de la résistance a lieu à la surface, la diminution de pression ne se fait sentir que juste au dessous du film filtrant.

B - CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DU MILIEU POREUX :

Un matériau filtrant est en général caractérisé par les différents facteurs suivants :

1°) La GRANULOMETRIE caractérisée par une courbe représentative des pourcentages en poids des grains passant à travers les mailles d'une succession de tamis normalisés.

2°) LA FORME DES GRAINS : On obtient des qualités d'eau filtrée semblables avec un matériau anguleux taille effective plus faible que celle d'un matériau à grains ronds.

3°) LA TAILLE EFFECTIVE : Elle correspond au pourcentage 10 de la courbe granulométrique et permet de prévoir en grande partie la qualité du filtrat.

4°) LE COEFFICIENT D'UNIFORMITE : C'est le rapport des tailles correspondant aux pourcentages 60 à 10 de la courbe granulométrique. A granulométrie égale, l'accroissement de perte de charge est plus faible avec des grains anguleux qu'avec des grains ronds, contrairement à ce que l'on peut penser.

5°) LA FIABILITE : Le test correspondant permet de choisir les matériaux susceptibles d'être utilisés en filtration, sans risque de production de fines par les opérations de lavage. Ainsi, un matériau friable est généralement à prescrire.

6°) LA PERTE A L'ACIDE : On ne peut tolérer une perte à l'acide importante quand l'eau est susceptible de contenir du gaz carbonique agressif.

7°) LA DENSITE APPARENTE DANS L'AIR : Elle définit conjointement avec la taille effective des grains les modalités du lavage et la possibilité de superposition de plusieurs matériaux filtrants de granulométrie différente.

D'autres caractéristiques sont spécifiques aux matériaux absorbants comme le charbon actif.

C - NATURE DU MILIEU POREUX :

La couche filtrante constitue l'élément essentiel du filtre; il faut donc choisir le sable avec beaucoup de soin. L'utilisation de "tout venant" est exclus car celui-ci est presque toujours constitué d'un mélange de grains de différentes tailles et contient souvent de grandes quantités de matières étrangères. Or, le sable du filtre doit être exempt d'argile, de poussières, de racines et de tout autre impureté. La proportion de chaux et de magnésium qu'il renferme doit être inférieure à 2 %. Lorsqu'on utilise un matériau...

absorbant, du charbon actif par exemple, il y a en outre une adsorption de certaines substances dissoutes et la qualité de l'eau filtrée n'est pas la même au point de vue chimique.

D - CHOIX DE LA GRANULOMETRIE DE LA COUCHE FILTRANTE :

L'efficacité de la filtration à travers le sable dépend en grande partie de la taille des grains. Les sables fins donnent de meilleurs résultats, mais offrent une résistance de frottement plus grande au passage de l'eau et ne sont d'un usage économique que pour les filtres à sable lents où la vitesse de filtration par unité de surface est approximativement quarante fois plus faible que dans les filtres rapides. Le degré d'uniformité et le diamètre efficace du sable sont d'une grande importance dans ce choix.

E - L'ÉPAISSEUR DE LA COUCHE FILTRANTE :

Pour que le procédé de purification fonctionne bien, il faut utiliser un filtre d'une épaisseur minimale de 0,6m. En ce qui concerne le gravier support, le choix doit être fait en fonction du type de fond utilisé.

CHAPITRE 5 : THEORIE DE LA FILTRATION LENTE SUR SABLE.

A - PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT.

I - LE PROCESSUS DE FILTRATION.

La filtration lente sur sable (ou filtration biologique) est obtenue par le passage de l'eau brute à travers un lit de sable. Dans les conditions réelles de fonctionnement d'un filtre, on distingue trois phases épuratoires interdépendantes et en relation avec diverses forces complexes : la phase de transport, de fixation et de purification.

1°) - LE TRANSPORT

Les principales phases par lesquelles les particules sont mises en contact avec les grains de sable sont :

a) LE TAMISAGE : C'est le plus évident des processus d'interception et de rétention des grosses particules. A mesure qu'elle se forme par maturation du filtre, le "schmutzdecke" ou peau filtrante contribue à l'efficacité qui se trouve encore augmentée avec le temps par les dépôts formés sur les grains de sable, restreignant progressivement l'ouverture des pores. Cet effet cumulé améliore la capacité de tamisage du filtre avec sa durée d'utilisation, mais cette amélioration est assortie d'un accroissement de la résistance à l'écoulement de l'eau par gravité.

b) LA SEDIMENTATION : Contrairement à un bassin de sédimentation, la précipitation des particules en suspension se fait sur la surface totale de tous les grains de sable orientée vers le haut. Un mètre cube de sable filtrant dont la porosité totale de

$$\left(\frac{6}{d}\right) (1 - p) - (5).$$

c) FORCES D'INERTIE ET CENTRIFUGE : Elles éjectent la particule de la ligne d'écoulement et la déposent dans les interstices.

D d) DIFFUSION (Mouvement Brownien) : Elle provoque le contact des particules en suspension avec les surfaces limitées et agit indépendamment de la vitesse de filtration dans toute la profondeur du filtre.

e) ATTRACTION CLASSIQUE (force de Van der Waals) : Cette force agit universellement et contribue à la fois aux mécanismes de transport et de fixation.

f) FORCES D'ATTRACTION ELECTROSTATIQUE ET ELECTRO-CINETIQUE : Leur principal effet est de maintenir en place les particules qui ont été mises en contact avec les grains de sable, mais elles participent également à l'ensemble du mécanisme de transport.

2°) - LA FIXATION :

Les principales forces qui maintiennent en place les particules une fois qu'elle sont en contact avec les grains sont : l'attraction électrostatique, la force de Van der Waals et l'adhérence. La combinaison de ces forces est souvent désignée par le terme général d'adsorption.

a) L'ATTRACTION ELECTROSTATIQUE : L'attraction entre charges électriques qui est inversement proportionnelle au carré de la distance s'ajoute aux autres mécanismes de transport lorsque ceux-ci ont amené une particule à proximité immédiate d'un grain de sable porteur d'une charge électrique de signe contraire. En raison de la nature de sa structure cristalline, le sable quartzueux propre est porteur d'une charge négative. Il peut donc attirer les particules de matière colloïdale chargées positivement comme les cristaux de carbonate et les flocons d'hydroxyde de fer ou d'aluminium. Les particules colloïdales d'origine organique, y compris les bactéries, sont en général chargées négativement et sont éliminées par l'adsorption sur les grains où sont accumulées des particules chargées positivement pendant le processus initial de maturation.

b) ADHERENCE : Pendant la période de maturation, les particules d'origine organique sont arrêtées ou déposées à la surface du filtre et sur les grains. Ces dépôts deviennent rapidement un terrain de prolifération des bactéries et d'autres micro-organismes qui produisent un matériau visqueux connu sous le nom de zoogléa, composée de bactéries actives, de leurs déchets, de leurs cellules mortes et de matières organiques partiellement assimilés. La zoogléa forme un film gélatineux, visqueux, collant à la surface de la schmutzdecke et des grains de sable. Cependant, les matières inertes sont retenues jusqu'à leur élimination éventuelle par les opérations de nettoyage du lit de sable.

3°) LA PURIFICATION :

Les divers processus d'épuration par lesquels les impuretés piégées sur et dans le lit filtrant sont désagrégées et rendues inoffensives sont interdépendants. Les deux agents principaux qui contribuent à l'effet général sont l'oxydation chimique et microbiologique, mais d'autres processus biologiques faisant intervenir diverses formes de vie animale et végétale jouent éventuellement un rôle important. Au sein de la schmutzdecke et du film zoogléique, les bactéries provenant initialement de l'eau brute foisonnent sélectivement en se nourrissant des matières organiques déposées. La croissance bactérienne s'accompagne d'une mortalité équivalente produisant ainsi des matières organiques qui deviennent disponibles pour les bactéries à des profondeurs supérieures. La totalité des matières organiques dégradables présentes dans l'eau brute est progressivement désagrégée et convertie en eau, dioxyde de carbone et sels minéraux relativement inoffensifs comme les sulfates, les nitrates et les phosphates.

Pour que l'oxydation biochimique soit satisfaite, il faut prévoir assez de temps, fournir assez d'oxygène et ne pas laisser la température de l'eau tomber trop bas. Si la teneur en oxygène est nulle pendant la filtration, il se

produit une décomposition anaérobie qui conduit à la production de sulfure d'hydrogène, d'ammoniac et d'autres substances génératrices de goûts et d'odeurs. On aura aussi des sels de manganèse et de fer qui rendent l'eau traitée impropre au lavage. Cette teneur en oxygène doit être au minimum de 3 mg/l (3).

Certains micro-organismes produisent diverses substances qui agissent comme des poisons chimiques ou biologique à l'égard des bactéries intestinales. C'est ce qui provoque une diminution considérable des organismes pathogènes.

II - EFFET DES ALGUES SUR LES FILTRES

Bien qu'ils ne participent pas au mécanisme de filtration proprement dit, certains types d'algues peuvent avoir d'importants effets sur le fonctionnement d'un filtre biologique. Ces effets peuvent être bénéfiques ou nuisibles selon les conditions régnantes qui peuvent être extrêmement diverses. Organismes autotrophes, les algues ont besoin de lumière pour leur processus de photosynthèse. Il est donc probable qu'elles soient entièrement inactives dans l'eau surnageante lorsque les structures du filtre sont couvertes.

La propriété la plus importante des algues pour le processus d'épuration de l'eau est son aptitude à former du matériel cellulaire à partir de simples matières inorganiques comme l'eau, le dioxyde de carbone, les nitrates et les phosphates. L'énergie que requiert le métabolisme des algues provient de l'oxydation de matières organiques. Ainsi, dans les climats chauds et pour les filtres ouverts qui favorise l'activité oxydante augmentant les chances de destruction des substances organiques nuisibles, la présence des algues a des effets bénéfiques qui font plus que compenser leurs inconvénients. Il existe d'autres effets favorables de la croissance des algues telle que la contribution des espèces filamenteuses à la formation d'une schmutzdecke active.

La teneur zoogéique va former un milieu qui favorise la prolifération du plancton, des diatomées et d'autres formes biologiques, augmentant ainsi le tamisage et l'adsorption. Expérimentalement les algues produisent des substances nuisibles aux bactéries et diminuent ainsi leurs chances de survie.

Toutefois la présence de fortes proliférations d'algues risque toujours d'exiger un nettoyage trop fréquent du filtre, si bien qu'il sera hors de service pendant un bon moment et nécessitera peut-être une main d'oeuvre plus considérable que celle qui eût été nécessaire autrement.

III - L'ACTION DE LA FILTRATION SUR LA QUALITE DE L'EAU LIVREE AUX CONSOMMATEURS.

L'objectif ultime de ce projet est l'obtention d'une norme élevée de qualité de l'eau à livrer aux consommateurs. Simultanément, on doit essayer de faire des économies sur les frais d'exploitation en faisant en sorte que les intervalles entre deux nettoyages successifs soient aussi longs que possible. En général, ces objectifs dépendent de quatre facteurs :

- la qualité de l'eau brute ;
- les conditions climatiques (particulièrement la température) ;
- la vitesse de filtration ;
- la composition du milieu filtrant.

Les deux premiers facteurs doivent être acceptés tels quels. Par contre la vitesse de filtration et la composition du lit filtrant se prêtent à un certain choix. Dans une large mesure, plus les grains du milieu filtrant sont petits, meilleure est la qualité de l'effluent. Quant au tamisage, il est d'autant plus efficace que les ouvertures des pores sont plus petites, cependant que la sédimentation et l'adsorption sont améliorées lorsque la surface globale du milieu filtrant augmente.

Plus la surface totale des grains est grande, plus elle favorise le contact entre les constituants de l'eau brute et les grains, accélérant ainsi les réactions chimiques. Cette surface totale peut également être accrue par une augmentation de la profondeur du lit filtrant. Mais, lorsqu'on remarque qu'une hauteur de 0.6m de sable à grains de 0.15mm de diamètre présente la même surface qu'une hauteur de 1.4m à grains de 0.35 mm, il apparaît évident que l'utilisation d'un sable fin est plus économique que celle d'un sable grossier.

Si la vitesse d'écoulement augmente trop, les matières organiques réussiront à traverser le filtre et à pénétrer dans l'effluent. Mais dans les filtres ouverts où la prolifération des algues est abondante, les vitesses de filtration très lentes (quelques centimètres à l'heure) peuvent provoquer la décharge de certains sous produits du métabolisme des algues capables de donner une saveur et une odeur déplaisantes à l'eau livrée aux consommateurs.

Il n'y a pas de formule mathématique qui permette de calculer les intervalles entre deux nettoyages successifs du filtre, mais il est clair qu'ils seront d'autant plus courts que la vitesse de filtration sera plus élevée et que les milieux filtrants seront à grains plus fins.

B - LES DETAILS DE CONCEPTION DES FILTRES :

Après avoir choisi la source d'alimentation qui est le lac de Guiers, on va se pencher vers la conception des éléments essentiels d'un filtre à sable lent qui sont :

- le lit filtrant ;
- le fond du filtre et le drainage souterrain ;
- le dispositif de commande.

Mais les premières décisions porteront sur la quantité d'eau à traiter qui est la somme de trois volumes :

- * L'eau requise pour les usages domestiques ;
- * L'eau perdue ;
- * L'eau nécessaire à des usages spéciaux.

Dans le cadre du projet, cette dernière n'est pas à considérer.

Pour ce qui est du volume d'eau perdue, il est toujours nécessaire d'en tenir compte du fait que, même dans les installations nouvelles dont la construction a été supervisée avec le plus grand soin, il y a inévitablement des pertes d'eau.

Le grand problème se pose au niveau des usages domestiques qui dépendent :

- . du nombre de consommateurs qui évolue avec l'accroissement démographique ;
- . de la demande moyenne par habitant qui est un facteur difficile à cerner du fait de sa variation suivant les moeurs.

Donc pour ne pas avoir à étendre le système tout juste après sa réalisation, on doit veiller à considérer une période de sécurité de 7 à 10 ans.

C'est après avoir défini ces différents facteurs qu'on pourra déterminer l'aire totale de filtration A. Ainsi, on va déterminer la quantité d'eau à traiter en une heure Q

et la vitesse de filtration v_f . A partir de là, on pourra choisir le nombre, la forme et les dimensions des filtres de telle manière qu'ils fournissent cette aire totale.

I - RESERVOIR D'EAU SURNAGEAUTE :

Il fournit la charge d'eau nécessaire pour vaincre la résistance hydraulique du lit filtrant et provoque ainsi l'écoulement par gravité de l'eau à travers le filtre.

De ce fait, il est préférable de choisir une hauteur maximale d'eau dans le réservoir entre 1 et 1.5 m. Les parois doivent s'élever d'environ 20 à 30 cm au-dessus du niveau d'eau dans le réservoir.

II - LE LIT FILTRANT :

Comme les quantités requises sont importantes, on emploie usuellement du "tout venant" pour éviter la dépense relativement élevée d'un gabarillage minutieux.

Toutefois, il est souhaitable de choisir un sable dont le coefficient d'uniformité varie entre 1.5 et 2.0 (4). L'idéal serait que le diamètre effectif du sable, (d_{10}), soit juste assez petit pour que la qualité de l'effluent soit bonne et que la pénétration des matières organiques, à une profondeur telle qu'elles résistent au décapage, soit évitée. Ce diamètre effectif est usuellement compris entre 0.15 et 0.35 mm (4), il se détermine expérimentalement. On a trouvé dans la pratique qu'un mélange de matériaux fins et grossiers était satisfaisant si bien que le choix final sera conditionné par les possibilités locales.

Pour ce qui est de l'épaisseur de la couche filtrante, on va tenir compte :

- de la zone de croissance bactérienne ;
- de la zone d'oxydation minérale où les matières organiques libérées par le cycle biologique bactérien qui se déroule dans la couche de sable supérieur, se trouvent chimiquement dégradées (0.4 à 0.5 m) ;
- d'une zone de sécurité pour le nettoyage par raclage. (Pour un filtre fonctionnant deux mois entre deux nettoyages successifs, on prendra une épaisseur initiale totale de 1.2 à 1.4 m. (5). Mais, étant donné l'importance des conditions locales, il vaut mieux déterminer l'épaisseur expérimentalement.

Toutefois, lorsqu'on désire un effluent de qualité particulièrement élevée, on pourra incorporer au lit filtrant une couche de charbon actif de 0.1 m d'épaisseur pour adsorber les dernières traces de substances génératrices d'odeurs. On peut aussi utiliser une couche de coquillages broyés pour corriger le Ph d'une eau naturellement agressive.

III - LE SYSTEME DE DRAINAGE :

Le système de collecteur du drainage est important pour l'efficacité de fonctionnement du filtre. Il joue un double rôle :

- il sert de support au milieu filtrant ;
- il assure un débouché sans obstacle à l'eau traitée qui s'écoule par le fond du filtre.

Ainsi, il doit être conçu de telle sorte qu'il ne soit pas dérangé pendant l'étalement de la charge en matériau filtrant et qu'il collecte uniformément l'eau traitée sur la totalité de la surface, afin que toutes les parties du lit fonctionnent à la même intensité. La forme la plus simple de collecteur de drainage est un réseau de drains principaux et secondaires (latéraux). La variation de la vitesse de filtration qui s'en suit n'est pas intégralement évitable, mais elle peut-être considérablement atténuée par une bonne conception grâce à laquelle les différences de charge de l'eau filtrée doivent rester faibles par rapport à la perte totale de charge subie par l'eau dans son mouvement de percolation par gravité à travers le filtre.

IV - LE BASSIN FILTRANT :

Il regroupe les éléments principaux d'un filtre qui sont :

- le franc - bord,
- l'eau surnageante,
- le milieu filtrant,

- le gravier support ;
- le fond du filtre.

Les matériaux de construction les plus couramment utilisés sont : le béton pour le fond ; le béton (massif ou armé), la pierre ou la brique pour les parois, selon les possibilités locales et les compétences de la main d'oeuvre.

Occasionnellement, lorsque l'économie des immobilisations en capital est cruciale, on construit des parois inclinées qui permettent de réduire les tensions structurales en profitant mieux de la force portante du sol. Mais cette technique demande un terrain vaste et peut donner naissance à des difficultés dues à la croissance de plantes aquatiques ainsi qu'à des problèmes d'étanchéité. On a parfois fait confiance à l'argile corroyée comme matériau de fond et comme renfort des parois latérales en maçonnerie de briques ou de pierres, mais elle peut s'avérer très inefficace, à moins qu'elle ne soit extrêmement bien préparée.

Dans l'intérêt tant de l'isolement thermique de la facilité d'accès, le haut des parois latérales doit être assez proche du niveau du sol convenablement terrassé ou nivelé.

Dans nos pays où le froid ne pose pas de problèmes majeurs, il peut être plus commode de construire de petits filtres en surface que de grands filtres semi-enterrés. Les "court-circuits" du filtre, c'est-à-dire la percolation de l'eau par gravité le long de la face interne de la paroi, compromettent la pureté de l'effluent. Il faut donc prendre des précautions contre ce danger en rainurant ou en picotant les parois internes du bassin.

V - LE SYSTEME DE COMMANDE DES FILTRES :

Pour un bon fonctionnement des filtres, il faut que les canalisations, les vannes, et les autres commandes qui servent à régulariser l'écoulement, soient prévues et calculées avec un grand soin.

Il est indispensable de disposer de moyens qui permettent :

- d'admettre l'eau brute dans le réservoir d'eau surnageante ;
- d'évacuer l'écume et les autres matières flottantes à la surface de l'eau ;
- de vidanger l'eau surnageante avant le nettoyage du filtre ;
- d'abaisser le niveau de l'eau dans le lit filtrant ;
- de régler la vitesse de filtration pour l'ajuster à mesure que croît la résistance du lit au cours d'une période de fonctionnement entre deux nettoyages (l'installation d'un débitmètre sur venturi est souhaitable pour les grands aménagements) ;
- de faire en sorte que la pression ne puisse pas changer de sens à l'intérieur du lit ;
- de conduire l'effluent du filtre jusqu'au réservoir d'eau filtrée ;
- de rejeter l'eau filtrée à l'égout ou de la diriger sur la canalisation d'alimentation d'un autre filtre pendant la maturation.

L'écoulement de l'eau à travers un lit filtrant dépend de trois facteurs physiques :

- * La charge de l'eau brute (ou d'entrée) : H_1 ;
- * La charge de l'eau filtrée (ou de sortie) : H_2 ;

* La vitesse de filtration (ou d'écoulement) : V_f .

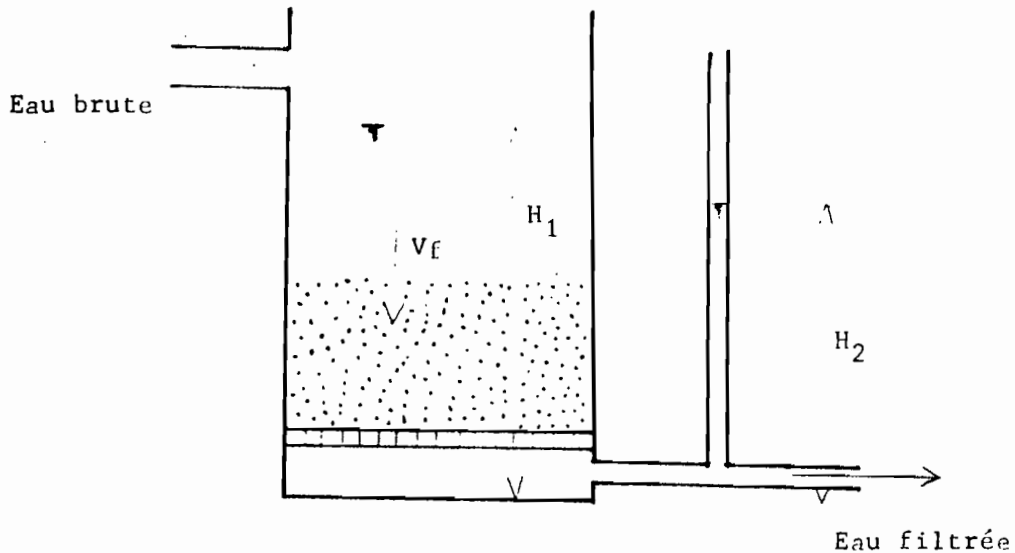


fig.1 : APPLICATION DE LA LOI DE DARCY A LA FILTRATION SUR UN SABLE PROPRE.

D'après la loi de Darcy, ces trois facteurs sont liés par la relation :

$$V_f = a (H_1 - H_2)$$

dans laquelle le coefficient a dépend des caractéristiques hydrauliques de l'ensemble du lit. Certaines de ces caractéristiques sont "incorporées" (par exemple, l'épaisseur et la taille des grains du milieu filtrant, la résistance hydraulique du collecteur de drainage), mais la plus importante est le colmatage qui croît avec la durée de fonctionnement du filtre entre deux nettoyages successifs et diminue ainsi la valeur de a .

VI - COUVERTURE DES FILTRES :

Dans nos pays où la température tombe rarement en dessous de 18°C, la couverture des filtres peut s'imposer pour l'une des raisons suivantes :

- lutter contre la croissance d'algues dans l'eau surnageante en maintenant celle-ci dans l'obscurité ;

- éviter la dégradation de la qualité de l'eau brute par des contaminants aéroportés et des fientes d'oiseaux.

Ainsi sous les climats tropicaux ou sub-tropicaux, il peut s'avérer nécessaire d'éliminer la lumière. En général, une structure très légère suffit. En fait, pour les petits filtres, on se contente souvent de volets amovibles couverts de tôle ondulée.

Mais les structures permanentes doivent être largement surélevées par rapport à la surface du filtre de manière à laisser un accès facile pour l'évacuation des produits de raclage du filtre et les opérations de recharge en sable.

VII - EXPLOITATION ET ENTRETIEN :

Les filtres lents à sable sont particulièrement indiqués pour le traitement des eaux dont la turbidité est au dessous de 50 mg/litre (exprimée en $Si O_2$) (5). L'un de ces avantages pour les pays sous-développés où le recrutement de personnel spécialisé peut être difficile, est l'extrême simplicité de l'exploitation de l'installation.

Le fonctionnement du filtre est régi par la vitesse de filtration qui se commande à la sortie de l'effluent. D'une manière générale, l'efficacité de la filtration est proportionnelle à l'épaisseur et à la finesse du sable et inversement proportionnelle à la vitesse de filtration. Pour une couche de 0.90m, la vitesse ne doit pas dépasser 3.70m/jour, sinon certaines bactéries traverseront le filtre et se retrouveront dans l'effluent (5).

Il est important de prendre toutes les précautions nécessaires pour que le filtre fonctionne de façon ininterrompue et qu'il soit constamment submergé. Cette mesure est nécessaire pour protéger la couche de limon qui se dépose à la surface du lit de sable et le film biologique qui se forme sur les grains de la couche supérieure. Ces dépôts contribuent considérablement à augmenter l'efficacité de la filtration.

VIII - NETTOYAGE DES FILTRES :

Lorsque l'accumulation des matières étrangères dans le sable est telle que le perte de charge atteigne le maximum admissible, il faut arrêter la filtration pour permettre le curage du sable. On peut nettoyer le filtre à l'aide de machines spéciales à laver, mais le plus souvent, l'opération se fait à la main dans les zones rurales. La quantité de sable à enlever dépend de la profondeur à laquelle la plupart des matières en suspension a pénétré. Habituellement, on enlève le sable superficiel au moyen de pelles plates sur une épaisseur de 5 à 10 cm. Ceci fait, le filtre est remis en marche. Le sable saturé peut-être lavé et réutilisé. On peut répéter ce procédé jusqu'à ce que environ 40°C du sable ait été enlevé. On peut alors remettre dans le filtre autant de sable nettoyé qu'il en faut pour atteindre le niveau original.

CHAPITRE 6 : CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT

On ne peut commencer ce chapitre sans rappeler l'objectif premier de ce projet qui est "un service adéquat d'alimentation en eau potable à un prix raisonnable".

Mais, avant de procéder au "désign" des différents systèmes, nous allons procéder à l'analyse qualitative des matières premières locales.

A. ANALYSE DES RESSOURCES LOCALES DISPONIBLES :

I - LA QUALITE DE L'EAU DU LAC DE GUIERS

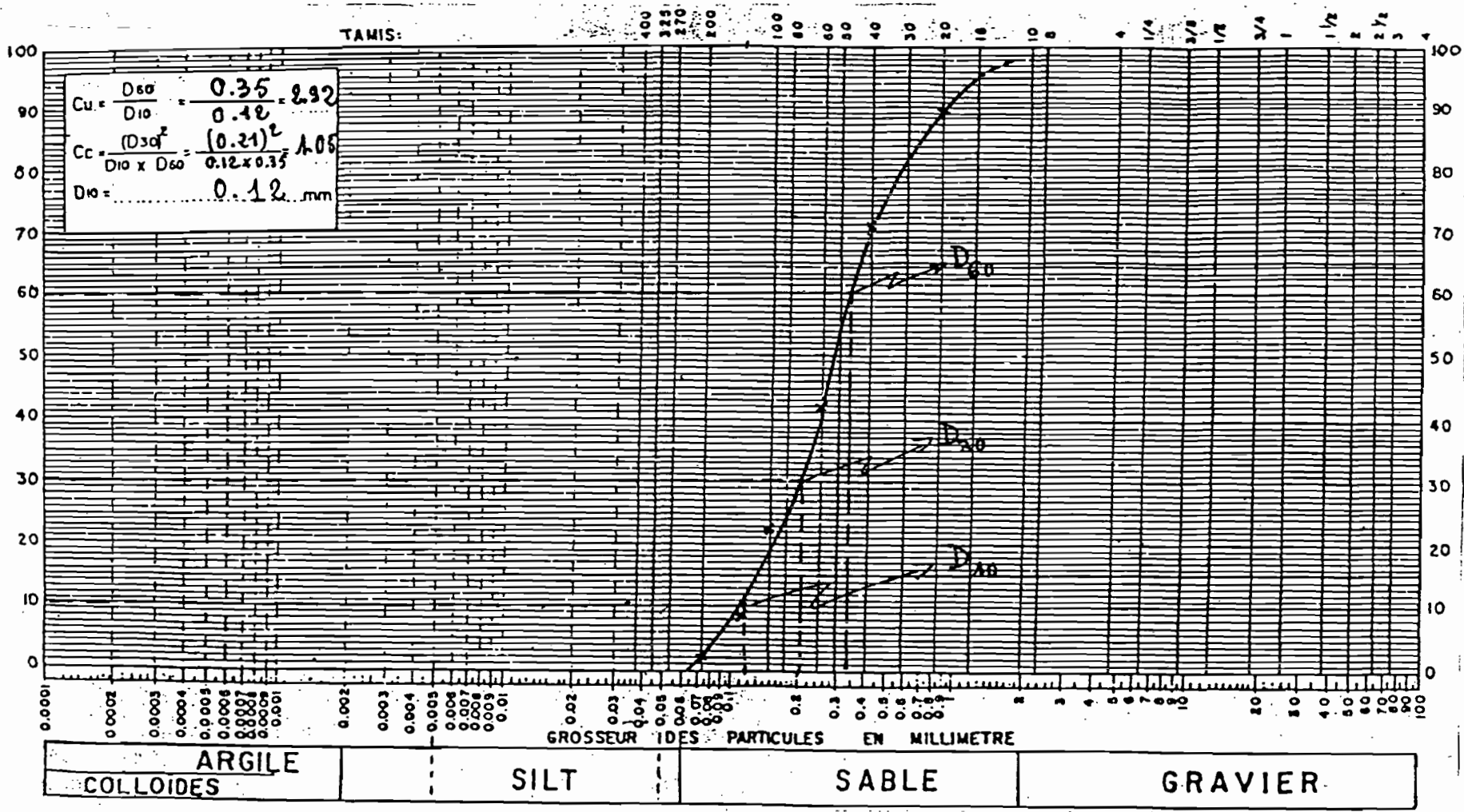
Les diverses caractéristiques étudiées sont :

- Turbidité = 40 unités Jacksons (ppm Si O₂).
- Ph = 7.672 ;
- Température = 28°C ;
- Couleur = 80 unités internationales (mg/l platine)
- Matière solide totale ou résidu sec = 8.118 mg/l ;
- Matière solide non volatile = 4.016 mg/l ;
- Matière solide volatile = 4.102 mg/l ;
- Matière en suspension = 1.100 mg/l ;
- Volume relatif des boues = 1.7 ml/l ;
- Dureté totale = 1 m.équivalent/l de carbonate de calcium ;
- Conductivité = 1.55 m. siemens à 7°C.

II - LA QUALITE DU SABLE DE LA REGION :

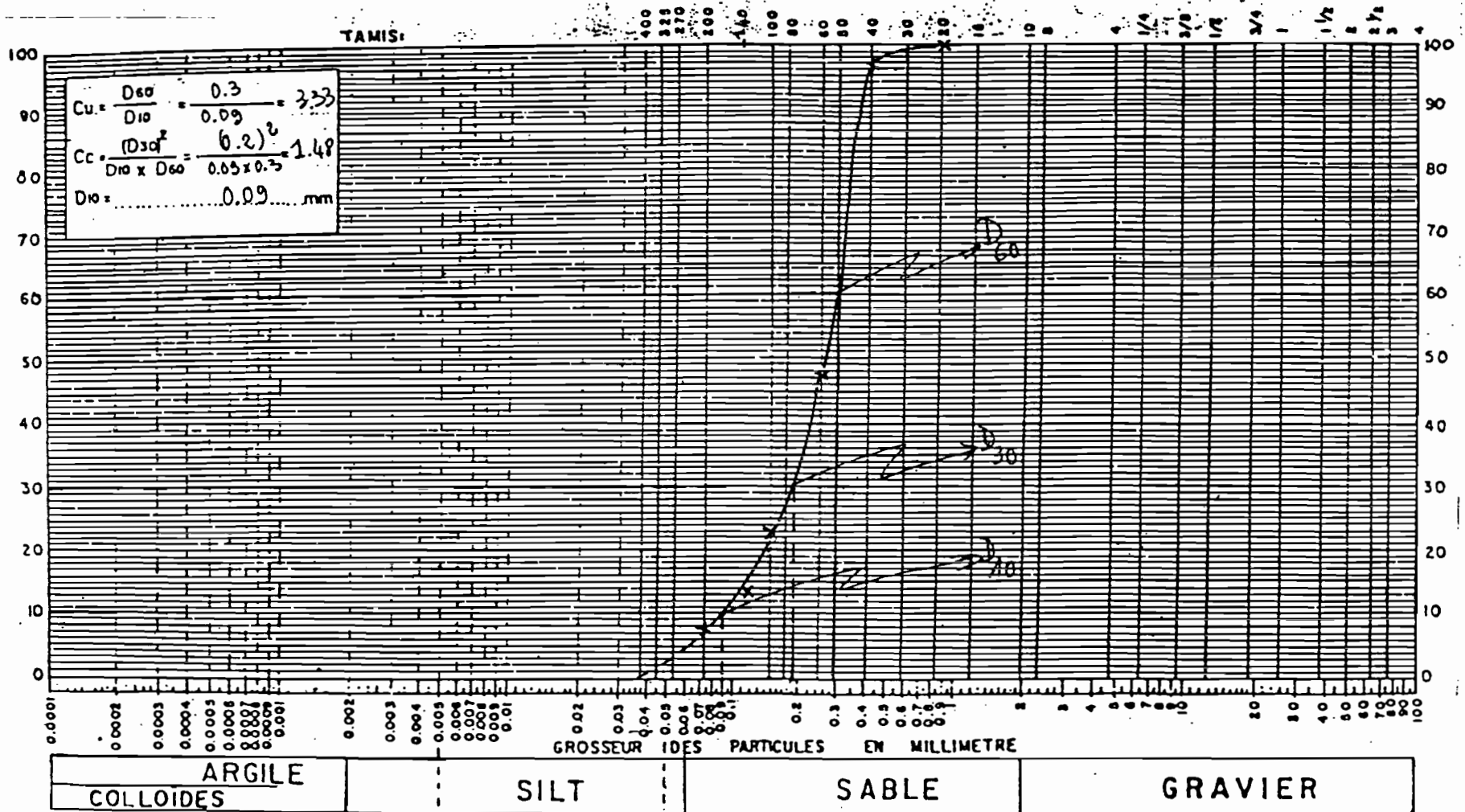
L'étude granulométrie a été le principal critère de qualité des différents types de sable rencontrés dans la région de Keur Momar Sarr. C'est ce qui nous a permis d'obtenir les différents résultats concernant le coefficient d'uniformité et le diamètre effectif D_{10} qui est le diamètre des grains de sable correspondant à un pourcentage passant de 10.

COURBE GRANULOMETRIQUE



DATE : 9. 1. 1985 ECHANTIL EN N° 1 : KEUR MOMAR SARR

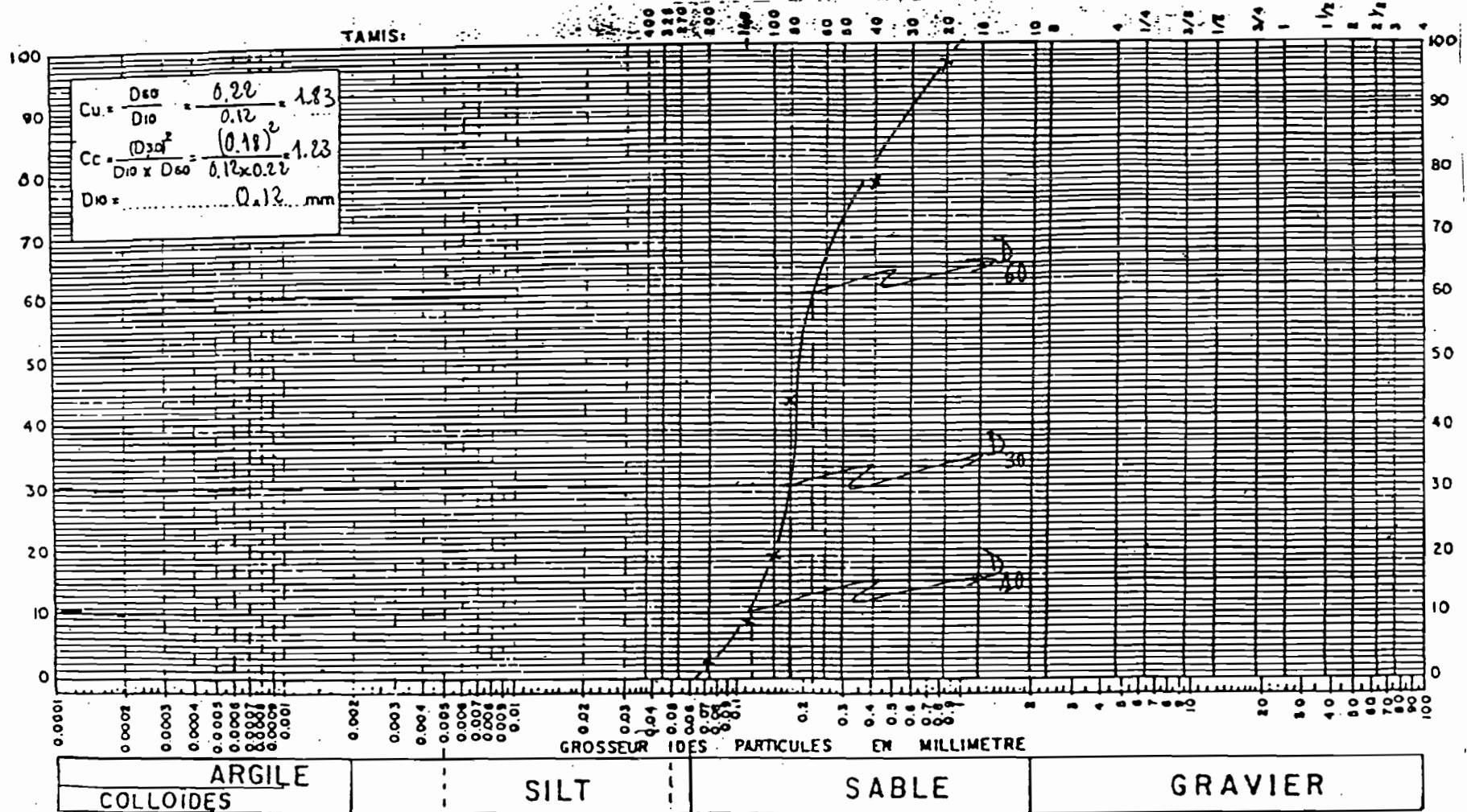
C O U R B E G R A N U L O M E T R I Q U E



DATE : 9. 1. 1985

ECHANTILLON N° 2 : F T O

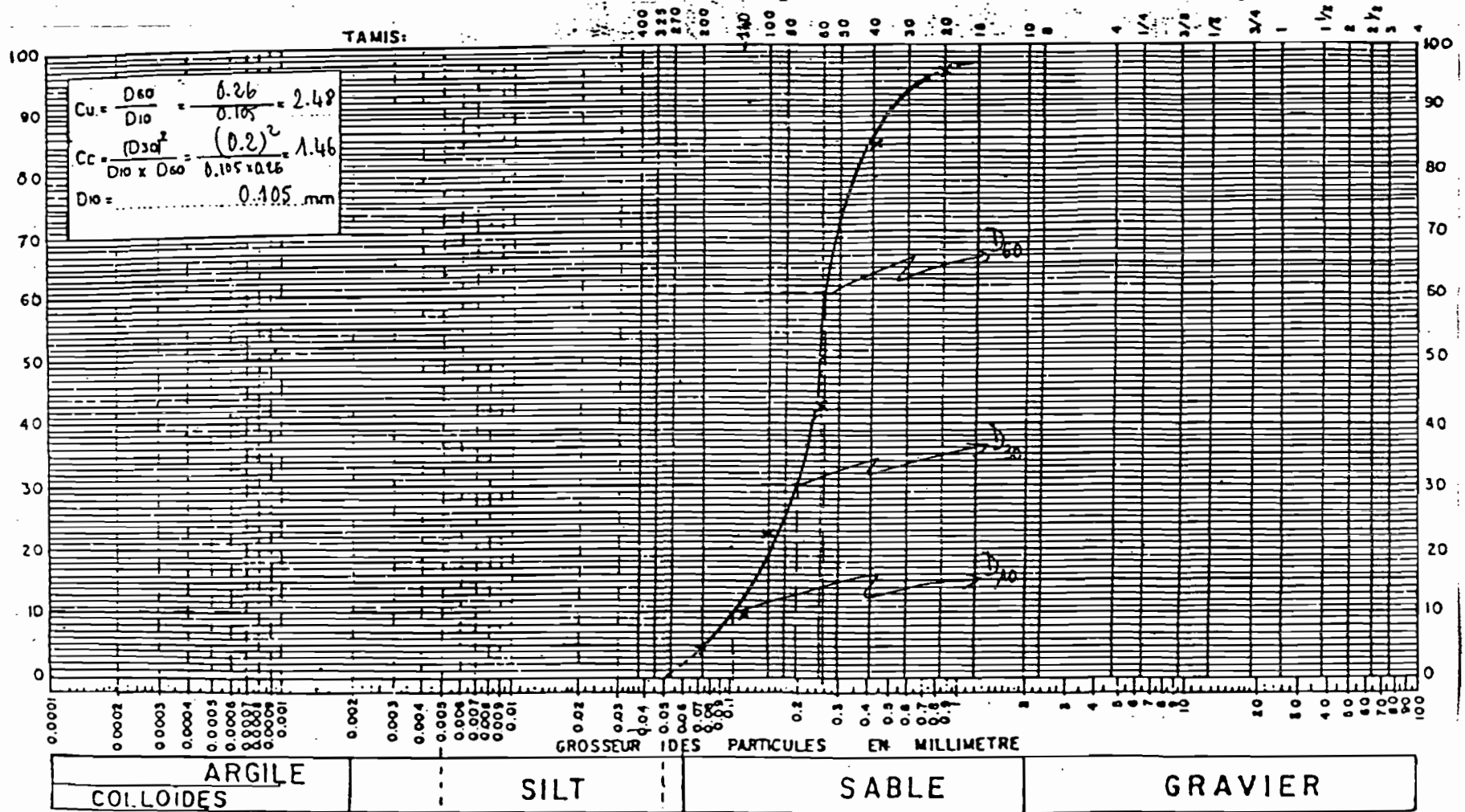
COURBE GRANULOMETRIQUE



DATE : 9. 1. 1985

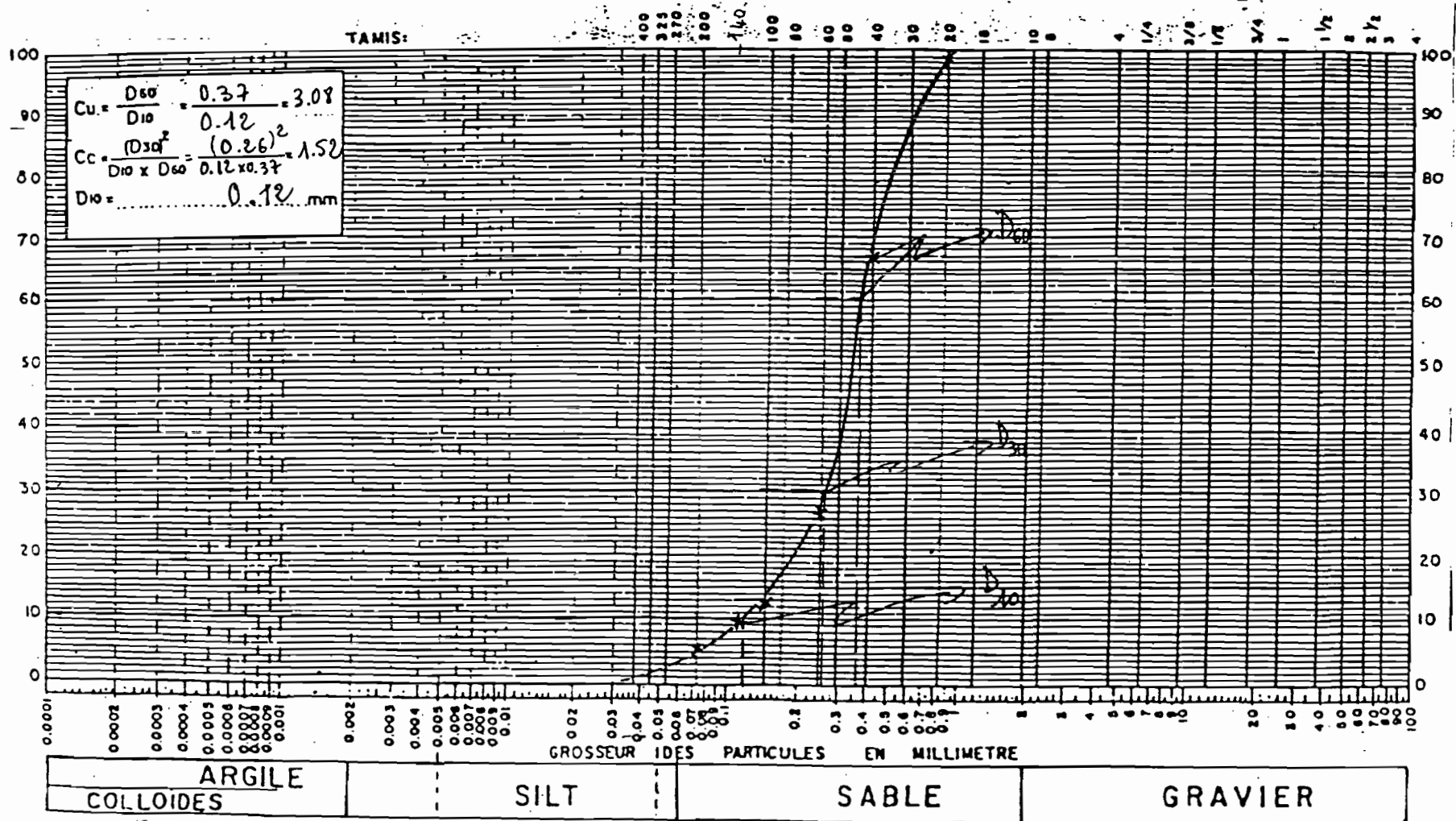
ECHANTILLON N° 3 : REUR AYA

COURBE GRANULOMETRIQUE



DATE : 9. 1. 1985 ECHANTILLON N° 4 : GINETTE GUENTT

COURBE GRANULOMETRIQUE



DATE : 9. 1. 1985

ECHANTILLON N° 5

GAMLETTE BALA 2

III - LA QUALITE DU GRAVIER SUPPORT :

La recherche dans la région n'a révélé qu'une seule source possible d'alimentation en gravier qui est située dans le village de Guew. C'est une carrière de latérite qui est un peu dur et de couleur brunâtre.

Mais, pour son utilisation, on va effectuer le test au chlorure d'hydrogène (H Cl) pour pouvoir vérifier son degré de propreté. Ainsi, après lavage par immersion pendant 24 h dans un bain de H Cl concentré chaud le pourcentage de diminution de son poids est de 5.5 %. Ainsi, il peut être utilisé puisque ce pourcentage ne dépasse pas 5 % de très loin.

Néanmoins, pour être plus sécuritaire, trois types de silex ont été échantillonnés au niveau de Taïba et à Lam-Lam. Les expériences ont procuré les résultats suivants :

- Le silex brunâtre de Taïba : 0.35 % ;
- Le silex brillant de Taïba : 0.65 % ;
- Le silex de Lam-Lam : 0.83 %.

B - LE DESIGN PROPREMENT DIT :

A cause de la qualité de l'eau du lac de Guiers qui n'est pas trop polluée, il n'est pas nécessaire de prévoir des installations de prétraitement.

Cependant, dans le cadre du projet intégré de Keur Momar Sarr, on va concevoir deux types de filtres : l'un à l'échelle familiale, l'autre villageoise. Ce qui permettra, pour une réalisation immédiate, de faire un choix optimal de système suivant les disponibilités financières du moment.

I - LE FILTRE FAMILIAL :

Ce système de filtre familial doit être conçu le plus simplement possible pour permettre une construction à très court terme. Alors, nous proposons d'utiliser des gourdes comme corps de filtre. Il suffit donc de trouser ce récipient à la base et de trouver le gravier support pour disposer d'un filtre fonctionnel.

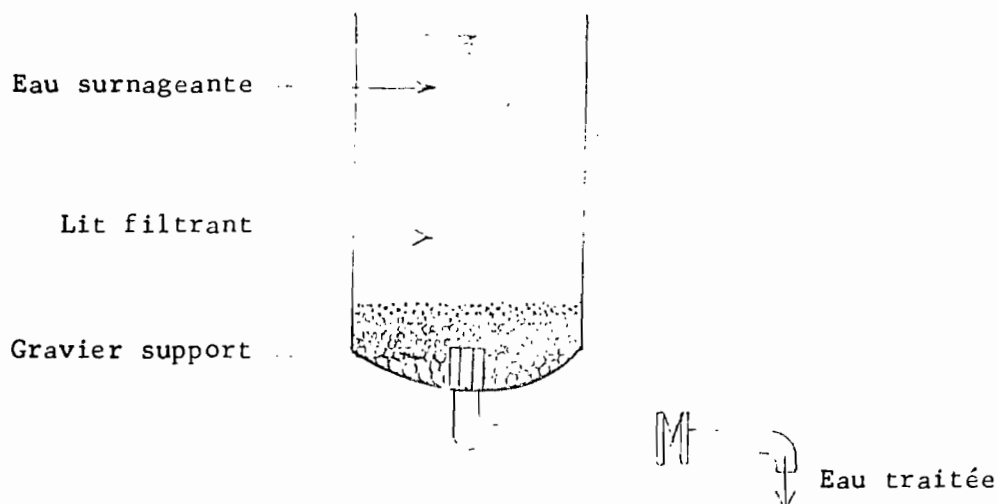


Fig. n° 2 : Système de filtre familial.

1°) LE DEBIT DE DESIGN : On va tenir compte pour chaque famille du nombre d'habitants et de la consommation moyenne journalière par habitant. Comme nombre d'habitants dans un foyer, on va considérer 15 hts d'après le recensement sommaire effectué dans le village de Keur Momar Sarr. Et pour ce qui est de la consommation journalière moyenne par habitant on prend 10 l. Ce qui donne un volume quotidien de 150l.

La vitesse de désign est $V_f = 0.1 \text{ m/h}$.

D'où pour 12 h de fonctionnement, on a un débit journalier :

$$Q = \frac{150}{12} = \frac{12.51}{h} = \underline{0.0125 \text{ m}^3/h.}$$

2°) LES DIMENSIONS DU BASSIN :

On connaît le débit de design qu'on va augmenter de 10 % pour tenir compte des pertes et des pointes de consommation.

$$\text{D'où } Q = 0.0125 + 10\% \times 0.0125 = 0.0138 \text{ m}^3/\text{h}.$$

$$Vf = 0.1 \text{ m/h} \quad A = \text{l'aire du bassin} = \frac{Q}{Vf} = \frac{0.0138}{0.1}$$

$$A = 0.138 \text{ m}^2$$

La forme du bassin étant circulaire, on a comme rayon

$$r = \left(\frac{A}{3.14} \right)^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{0.138}{3.14} \right)^{\frac{1}{2}} = 0.21 \text{ m}.$$

$R_{\text{min.}} = 21 \text{ cm}$

Comme hauteur du bassin, on va prendre 1.20 m comme c'est le maximum disponible sur le marché.

3°) LE LIT FILTRANT :

Pour le sable, on va récupérer le sable naturel en prenant soin de choisir un endroit propre et en profondeur afin d'éviter le maximum possible la collecte de matières organiques. Les échantillonnages effectués dans 10 villages de la communauté rurale ont donné des diamètres efficaces compris entre 0.05 mm et 0.35 mm, et des coefficients d'uniformité variant entre 2 et 3. Donc ils respectent bien les normes générales pour le Cu mais non pour le diamètre efficace.

Du moment que la latérite de la région est assez dure pour être acceptable, on va l'utiliser comme gravier support pour le filtre familial. On va sélectionner le matériau prélevé naturellement dans la carrière en 3 parties suivant la grosseur, et on va le disposer par ordre de

grandeur décroissant au fond du contenant après lavage.

Comme hauteur de sable, on va prendre 0.50 m et pour le gravier support : 0.15 m.

Le nettoyage de ce filtre va consister à décaper soigneusement 2 à 3 cm de sable, chaque fois qu'on se rendra compte d'une diminution de débit de moitié par rapport au début de fonctionnement. On répète ce procédé jusqu'à ce qu'environ 20 cm de sable ait été enlevé. Alors, on remet dans le filtre autant de sable nettoyé qu'il en faut pour atteindre le niveau original.

Ces dimensions ainsi déterminées ont été dictées par les expériences effectuées sur les différents matériaux. Elles ont procuré une eau de bonne qualité à une hauteur de lit filtrant de 15 cm pour une vitesse de filtration qui varie suivant les types de sable (cf. Annexe 3). Par règle de proportionnalité directe, on a déterminé les différents paramètres du bassin filtrant, ceci en fixant une vitesse de filtration. $V_f = 0.1 \text{ m/h}$.

Ainsi, on a le tableau récapitulatif suivant :

LES ELEMENTS DU BASSIN	LES DIMENSIONS (m)
- Franc-bord au-dessus du niveau de l'eau surnageante	0.10
- Eau surnageante	0.45
- Milieu filtrant	0.50
- Trois couches de gravier-support	0.15
TOTAL	1.20

TABLEAU N° 2 : DIMENSIONS DU BASSIN FILTRANT.

Le gravier support doit être gabarité en trois parties :

- La première constituée des gros éléments (10 à 20mm) à étaler au fond du filtre sur une épaisseur de 70mm,
- La seconde partie composée de grains de 2 à 8 mm , suit directement la précédente sur une épaisseur de 40 mm,
- ensuite vient la dernière portion de gravier (0.7 à 2 mm) sur une épaisseur de 40 mm.

Pour le drainage de l'effluent, on va utiliser une buselure qui est disponible sur le marché locale, une conduit de 30 mm de diamètre et une vanne en P.V.C.

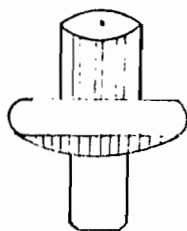


Fig. 3 : buselure en matière plastique.

4°) L'ALIMENTATION EN EAU :

Elle se fera de la manière la plus simple, c'est-à-dire aller puiser directement de l'eau dans le lac avec des récipients, et de la verser lentement dans le bassin en prenant soin de ne pas creuser le lit du filtre. Ce qui pourrait entraîner un mauvais fonctionnement de ce dernier.

II - LE FILTRE COLLECTIF

La première chose à faire va consister à déterminer la quantité d'eau à traiter qui se divise en trois volumes :

- la consommation moyenne par habitant multipliée par le nombre de consommateurs, c'est-à-dire l'eau requise pour les usages domestiques ;
- l'eau nécessaire à des usages spéciaux : industriels, commerciaux et autres ;
- l'eau perdue.

Cependant, pour ce projet spécifique, nous allons négliger le second volume. L'évaluation du premier s'avère très difficile puisqu'il est certain que la consommation va augmenter avec la commodité de ces installations.

1°) Le DEBIT DE DESIGN :

Données Démographiques (en 1983).

DIAMINAR KEUR KANE :

Imposables	: 19 hommes + 21 femmes	} TOTAL = 76 personnes.
Enfants	: 14 garçons + 10 filles	
Exempts	: 2 hommes + 2 femmes	

KEUR NOMAR SARR :

Imposables	: 265 hommes + 229 femmes	} TOTAL = 1.052 personnes.
Enfants	: 261 garçons + 269 filles	
Exempts	: 12 hommes + 16 femmes	

4°) L'ALIMENTATION EN EAU :

Elle se fera de la manière la plus simple, c'est-à-dire aller puiser directement de l'eau dans le lac avec des récipients, et de la verser lentement dans le bassin en prenant soin de ne pas creuser le lit du filtre. Ce qui pourrait entraîner un mauvais fonctionnement de ce dernier.

II - LE FILTRE COLLECTIF

La première chose à faire va consister à déterminer la quantité d'eau à traiter qui se divise en trois volumes :

- la consommation moyenne par habitant multipliée par le nombre de consommateurs, c'est-à-dire l'eau requise pour les usages domestiques ;
- l'eau nécessaire à des usages spéciaux : industriels, commerciaux et autres ;
- l'eau perdue.

Cependant, pour ce projet spécifique, nous allons négliger le second volume. L'évaluation du premier s'avère très difficile puisqu'il est certain que la consommation va augmenter avec la commodité de ces installations.

1°) Le DEBIT DE DESIGN :

DONNEES DEMOGRAPHIQUES (en 1983).

DIAMINAR KEUR KANE :

Imposables	: 19 hommes + 21 femmes	} <u>TOTAL</u> = 76 personnes.
Enfants	: 14 garçons + 18 filles	
Exempts	: 2 hommes + 2 femmes	

KEUR NOMAR SARR :

Imposables	: 265 hommes + 229 femmes	} <u>TOTAL</u> = 1.052 personnes.
Enfants	: 261 garçons + 269 filles	
Exempts	: 12 hommes + 16 femmes	

GANKETTE BALLA :

Imposables	: 162 hommes + 125 femmes	} TOTAL = 621 per- sonnes.
Enfants	: 176 garçons + 149 filles	
Exempts	: 4 hommes + 5 femmes	

Comme on ne dispose que de ces 3 villages d'après le C.W.S., nous allons prendre la valeur moyenne qui est d'environ 500 habitants.

- LE VOLUME DES USAGES DOMESTIQUES :

On va dimensionner pour 500 hts qui est la valeur moyenne des villages de la communauté rurale, pour une consommation moyenne journalière de 20 l par habitant et pour une vitesse de filtration $V_f = 0,2$ m/h.

Du moment que l'installation doit fonctionner 24 h en temps plein, on considère un débit journalier moyen :

$$Q = \frac{30 \cdot 10^3 \times 20}{24} = 0,625 \text{ m}^3 / \text{h}.$$

- VOLUME D'EAU PERDUE :

Du fait de la simplicité du réseau, nous l'estimons à 20% de la consommation totale.

- DEBIT DE POINTE :

Ils peuvent être quotidiens, hebdomadaires, saisonniers ou occasionnels. On y pare en prévoyant une capacité suffisante de stockage de l'eau traitée. Ainsi le débit de désign s'établit comme suit :

$$Q = 0,625 + 20\% (0,625) = 0,75 \text{ m}^3 / \text{h}$$

Mais comme on doit dimensionner avec le maximum entre la pointe horaire et la pointe journalière (en négligeant le débit d'incendie), on va considérer :

$$Q = 0,75 + 10\% (0,75) = 0,83 \text{ m}^3 / \text{h}.$$

d'où le volume de désign $V = 0,83 \times 24 = 19,92 \text{ m}^3.$

On a $Q = 0.83 \text{ m}^3/\text{h}$ et $V = 20 \text{ m}^3$

N O T : Pour ce projet spécifique, nous allons négliger le volume nécessaire à des usages spéciaux : industriels, commerciaux et autres.

2°) L'AIRE TOTALE DE FILTRATION :

Le C.R.D.I. nous propose de prendre une vitesse de filtration variant entre 0.1 et 0.2 m/h (8) : ce qui nous conduit à choisir $V_f = 0.2 \text{ m/h}$.

Ainsi, on en déduit la section totale de désign

$$A = \frac{Q}{V_f} = \frac{0.83}{0.2} = 4.15 \text{ m}^2$$

$$\underline{A. = 4.15 \text{ m}^2}$$

Pour une commodité de nettoyage, nous choisissons une section de bassin rectangulaire de longueur

$$\underline{L = 3.0 \text{ m}} \quad \text{et de largeur} \quad \underline{l = 1.5 \text{ m}}$$

Ce qui fait une section $\underline{A = 4.5 \text{ m}^2}$

3° - LE LIT FILTRANT :

On utilise le sable naturel tel que trouvé dans les villages de la communauté pour les matériaux de diamètre efficace $D_{10} = 0.11 \text{ mm}$ puisque tous les coefficients d'uniformité trouvés respectent les normes de la filtration lente. (Annexe 2).

D'après le chapitre précédent, on va choisir une épaisseur du lit $h = 1.10 \text{ m}$. Ce qui nous permet de déterminer la résistance hydraulique maximale admissible H_{adm} . d'après la loi de Darcy que traduit l'expression :

$$H = \frac{V_f}{K} \cdot h$$

K étant le coefficient de perméabilité du sol.

Ce coefficient a été déterminé approximativement par HAZEN en 1895 en fonction du diamètre efficace D_{10} du matériau suivant la formule.

$$K = 100 D_{10}^2$$

avec D_{10} en cm et K en cm/s

Ne disposant pas en laboratoire de matériel nous permettant de la trouver expérimentalement, nous allons nous contenter de cette expression approximative.

K étant inversement proportionnel à H et proportionnel au carré de D_{10} , nous choisissons le diamètre effectif le plus petit admissible des matériaux échantillonnés qui est celui du village du Gueu (annexe 2).

$$D_{10} = 0.011 \text{ cm} \quad K = 100 \times (0.011)^2 = 0.0121 \text{ cm/s.}$$

$$K_{\min} = 0.44 \text{ m/h}$$

$$\text{d'où } H_{\text{adm}} = \frac{V_f \cdot h}{K} = \frac{0.1 \times 1.1}{0.44} = 0.25 \text{ m.}$$

$$H_{\text{max. adm.}} = 0.25 \text{ m}$$

Ainsi, d'après les résultats des rapports granulométriques, il existe des villages pour lesquels il faut effectuer un tamisage du sable naturel pour diminuer le degré de finesse. On doit veiller à ce que le diamètre efficace minimum soit de 0.11 mm.

Sur ce, on recense les villages de Feto, Loyène et Diaminar Keur Kane. (Voir annexe 2).

4°) LE GRAVIER SUPPORT :

Il doit être calibré de telle sorte qu'on ait les profondeurs minimales suivantes :

- Une couche de 15 cm passant à travers un tamis de 80 mm, mais retenue par un tamis de 10 mm;
- Une couche de 10 cm passant à travers un tamis de 25 mm, mais retenue par un tamis de 10 mm;
- Une couche de 5 cm passant à travers un tamis de 10 mm mais retenue par un tamis de 5 mm.

La résistance hydraulique de ce gravier est négligeable par rapport à celle du lit filtrant.

Cependant, expérimentalement, on ne peut pas utiliser le gravier sur place pour ce grand système.

Ce qui nous conduit à choisir le silex de Taïba ou de Lam-Lam qui se situent dans la région de Thiès qui est côte à côte avec celle de Louga lieu d'application du projet.

5°) LE SYSTEME DE DRAINAGE :

Le système le plus simple consiste en des drains latéraux et un drain principal. Leur fond est légèrement incliné vers l'exutoire.

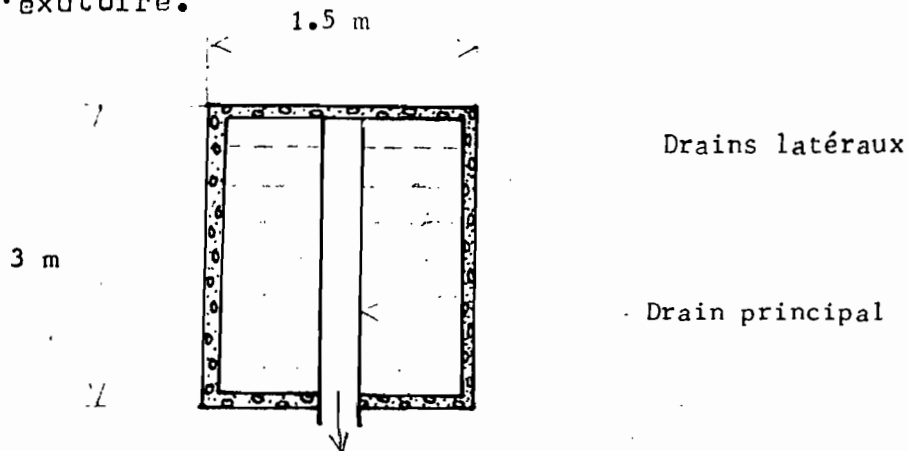
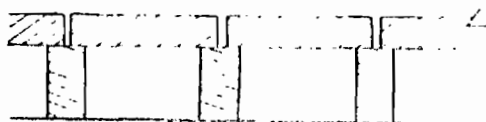


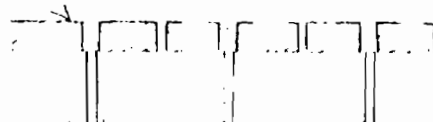
Fig. 4 : Disposition des drains.

Comme éléments de drainage, nous allons utiliser des briques de ciment fabriquées sur place qui seront disposées comme dans la figure suivante :

Briques ordinaires



Coupe transversale



Coupe longitudinale

fig 5 : Fond du filtre.

L'ouverture des interstices entre deux briques doit être au plus égale à la moitié du diamètre efficace des grains de la couche de gravier inférieure.

On va utiliser des briques de terre cuite 15 / 20 / 40. L'aire minimale entre les briques doit respecter un débit $Q = 0.83 \text{ m}^3/\text{h}$, et est déterminée en fonction de la vitesse de sortie de l'effluent.

ELEMENTS DU BASSIN	DIMENSIONS (m)
- Franc-bord au dessus du niveau de l'eau surnageante :	0.20
- Eau surnageante	1.10
- Milieu filtrant (1ère mise en charge)	1.10
- Trois couches de gravier - support	0.25
- Fond du filtre, en briques	0.35
T O T A L	3.00

TABLEAU N° 3 : Dimensions du grand bassin filtrant.

- A : Bassin de filtration.
- B : Bassin d'eau traitée.
- C : Eau brute.
- D : Trop-plein.
- E : Aération, chloration.
- F : Eau traitée.

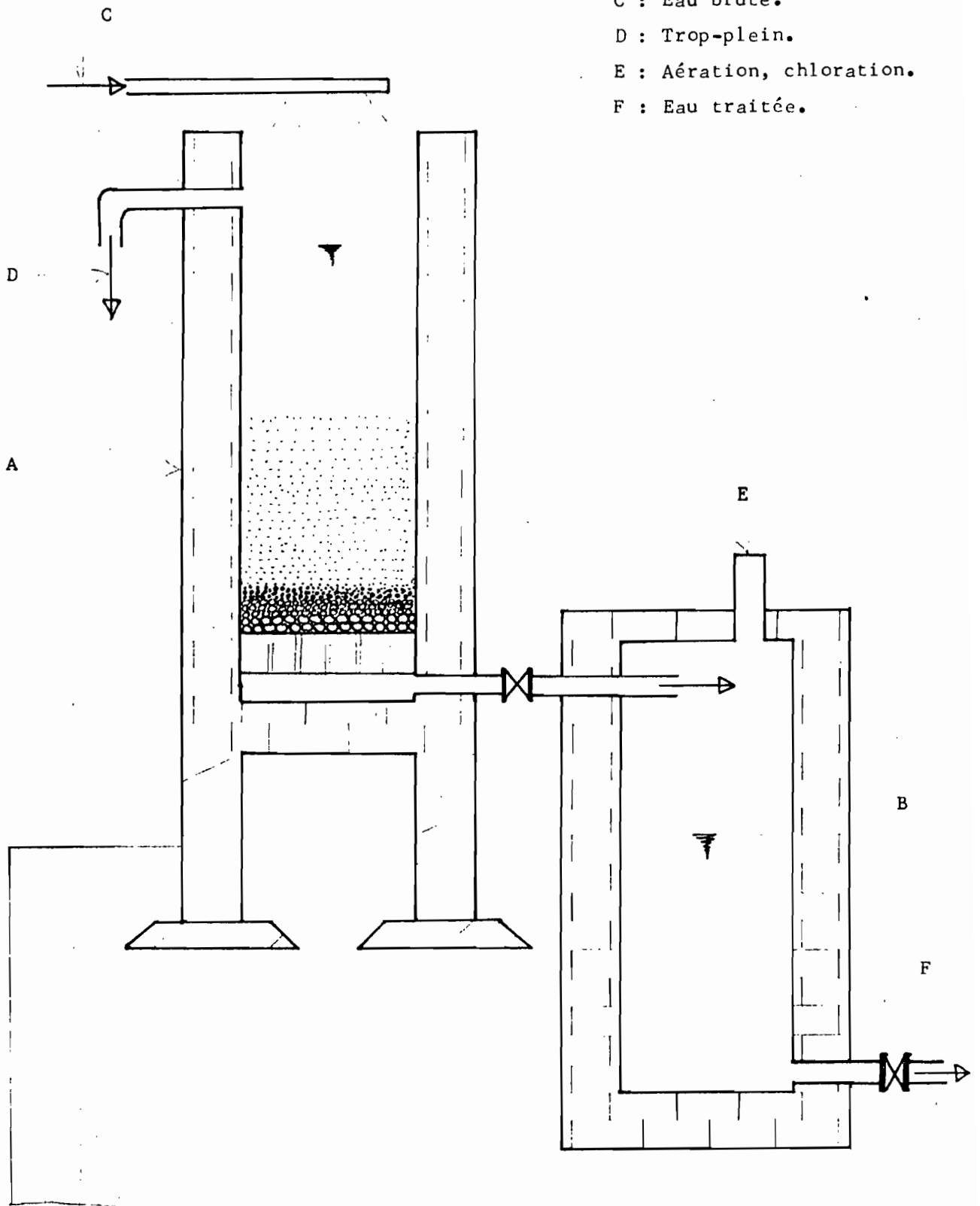


fig 6 : Schéma de l'incubation totale.

CHAPITRE 7 : FONCTIONNEMENT ET ENTRETIEN DES INSTALLATIONS.

Pour les pays en voie de développement et dans les régions où le recrutement de personnel qualifié est difficile, le choix de la filtration lente se justifie par son grand avantage d'être extrêmement simple d'exploitation. Les installations ne comportent guère de problème si elles ont été bien conçues et si les simples opérations de routine sont effectuées correctement.

A. LE FILTRE INDIVIDUEL :

I - L'EXPLOITATION DU SYSTEME :

L'adduction d'eau brute va se faire directement à partir du lac à l'aide de récipients. Pour verser l'eau dans le filtre, on prendra la précaution de ne pas creuser le lit filtrant dans le souci de ne pas aggraver pour la destruction du film biologique. Pour cela, on peut utiliser une simple plaque de réception de l'eau.

On doit respecter la vitesse de filtration en veillant à ce que la hauteur d'eau surnageante ne diminue pas de plus du tiers durant toute la durée de fonctionnement.

Après les 12 heures de fonctionnement, on doit couvrir le bassin afin de conserver la qualité de la schmutzdecke intacte.

II ENTRETIEN DU FILTRE :

A première vue, il semblerait plus profitable de couvrir le bassin afin d'éviter la prolifération d'algues qui entraîne un lavage fréquent. Mais dans ce cas, du fait de l'extrême simplicité du lavage qui consiste à découper la surface du lit, nous allons couvrir le filtre durant son fonctionnement. Ce qui permet d'améliorer la qualité de l'effluent.

B - LE GRAND FILTRE :

I - EXPLOITATION :

La première chose à faire est de transporter l'eau brute depuis le lac de Guiers jusqu'à l'installation. Pour cela, le seul procédé viable est l'utilisation d'une pompe. L'étude de la conduite d'adduction et du réseau de distribution étant faite à part, nous allons nous contenter d'inclure dans le cadre de notre projet seulement le coût de la pompe.

En ce qui concerne le réglage du débit, on va synchroniser le débit d'adduction et le débit de l'effluent en veillant à maintenir la hauteur d'eau surnageante constante. Ainsi, pour l'exploitation, il est nécessaire d'avoir deux équipes de deux personnes qui vont faire des rotations afin d'assurer un fonctionnement continu de la filtration. Il est important de prendre toutes les précautions nécessaires pour que le filtre fonctionne de façon ininterrompue et qu'il soit constamment submergé.

Cette mesure est nécessaire pour protéger la couche de limon qui se dépose à la surface du lit du sable et le film biologique qui se forme sur les grains de sable de la couche supérieure du filtre. Ces dépôts contribuent considérablement à accroître l'efficacité de la filtration.

II NETTOYAGE DU FILTRE :

Il doit s'effectuer chaque fois qu'on va se rendre compte d'une diminution de débit d'environ 10 %. Il s'opère par un grattage très soigné de 5 à 8cm de la couche supérieure de sable.

(Pour la suite de la procédure, voir le chapitre 5). Dans le cas de ce grand filtre, on va utiliser une couverture en amiante-ciment préfabriqué qu'on pourra enlever pour chaque opération de nettoyage.

Il faut noter que dans les deux cas, le sable naturel doit être nettoyé au préalable avec d'abord l'eau du lac puis un peu d'eau potable.

III - LA DESINFECTIION DE L'EFFLUENT :

La désinfection de l'eau potable s'effectue presque partout dans le monde au moyen de dérivés de chlore gazeux, tels le chlorure de chaux ou l'hypochlorite de calcium. Ils sont relativement peu coûteux et faciles à obtenir et ils constituent un agent désinfectant à action prolongée.

La chloration de l'eau potable a pour but de détruire les bactéries grâce aux effets germicides du chlore. Elle est aussi utilisée pour diverses autres raisons secondaires, telles l'oxydation du fer, du manganèse et de l'hydrogène sulfuré, la destruction des composés donnant un goût à une odeur à l'eau, le contrôle des algues et des organismes qui se déposent dans les stations de traitement des eaux, et la coagulation.

Ainsi, nous allons utiliser des galets d'isolin qui contiennent 89 % de chlore et qui coûtent 4.620 F CFA le kg et sont très stables.

Pour une bonne stérilisation, la concentration minimale de chlore résiduel libre, en ppm (pour une durée de contact d'au moins 10 mn) est de 0.2. Ce qui fait une utilisation de 1 kg d'isolin pour une semaine de fonctionnement.

Mais, il ne faut pas perdre de vue l'action de poison du chlore et des composés chlorés. Ce qui entraîne l'utilisation de l'ébullition comme procédé de désinfection du petit filtre. C'est une méthode satisfaisante pour détruire les organismes pathogènes à transport hydrique dans toutes leurs formes : bactéries, spores, cercaires, kystes et oeufs. En outre, ce procédé altère le goût de l'eau car, il élimine les gaz dissous, surtout le gaz carbonique. Par sécurité, l'eau doit être amenée à ébullition franche. Il est bon de faire

bouillir l'eau dans le récipient où elle sera laissée à refroidir et conservée, et de n'utiliser ce récipient à aucune autre fin.

DEBIT (l/s)	CHLORE GAZEUX kg / 24 h
0.63	2.73
1.26	5.45
2.20	9.55
3.15	13.60
4.82	20.50
6.30	27.20
15.80	68.20

TABLEAU N° 4 : Quantités de chlore nécessaires en fonction du débit - (3).

CHAPITRE 6 : LES ESSAIS

A. LE MODE OPERATOIRE

Il s'agit d'abord de nettoyer les 5 types de sables échantillonnés à Keur Nouar Barr, Fôto, Keur Aya, Gankette Guentt et Gankette Sala 2.

Ensuite, on fait entrer du basalte selon trois couches de granulométrie différentes dans le modèle de filtre, sur une hauteur de 6 cm. Puis, on verse 3 cm de hauteur d'un sable donné et 6 cm d'eau du lac qu'on conserve tout au long de la filtration pour respecter la même perte de charge. On mesure le débit de sortie en prélevant un volume donné et la durée correspondante. L'effluent ainsi obtenu est mis au turbidimètre Hellige pour mesurer la turbidité puis mis dans une étuve à 110°C afin de mesurer le résidu sec qui est un critère de qualité fiable. Après ces différentes expériences, on augmente encore 3 cm du même matériau et on répète les mêmes mesures; ceci jusqu'à une hauteur de 15 cm et avec toujours la même hauteur d'eau surnageante. Ceci nous permet de tracer les hauteurs de sable en fonction des différents critères de qualité que sont : les résidus secs, les débits et les turbidités.

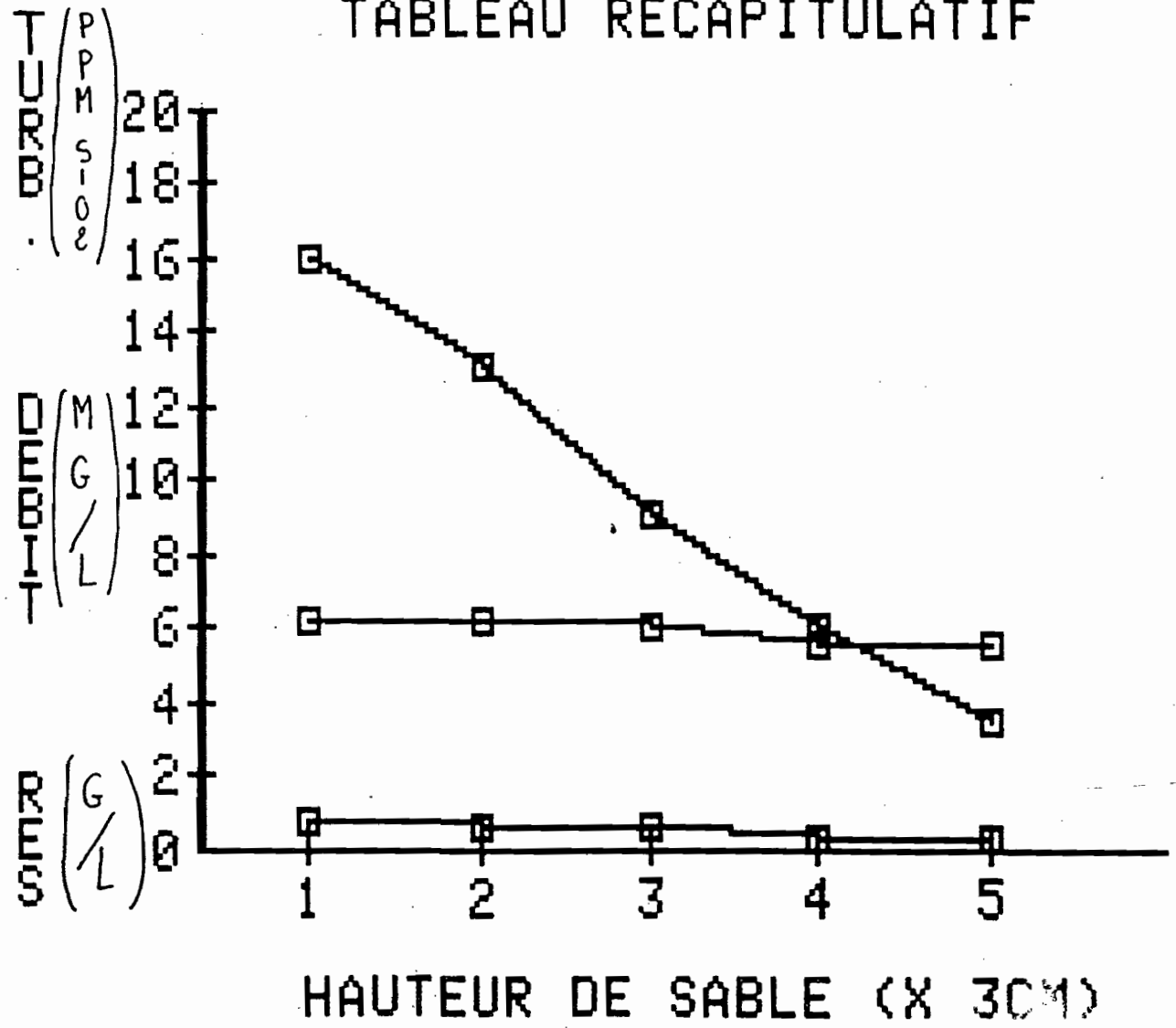
B - LES RESULTATS DES ESSAIS : (voir annexe 3)

C - COURBES REPRESENTATIVES : (pages suivantes)

(Feuilles de mesures voir Annexes).

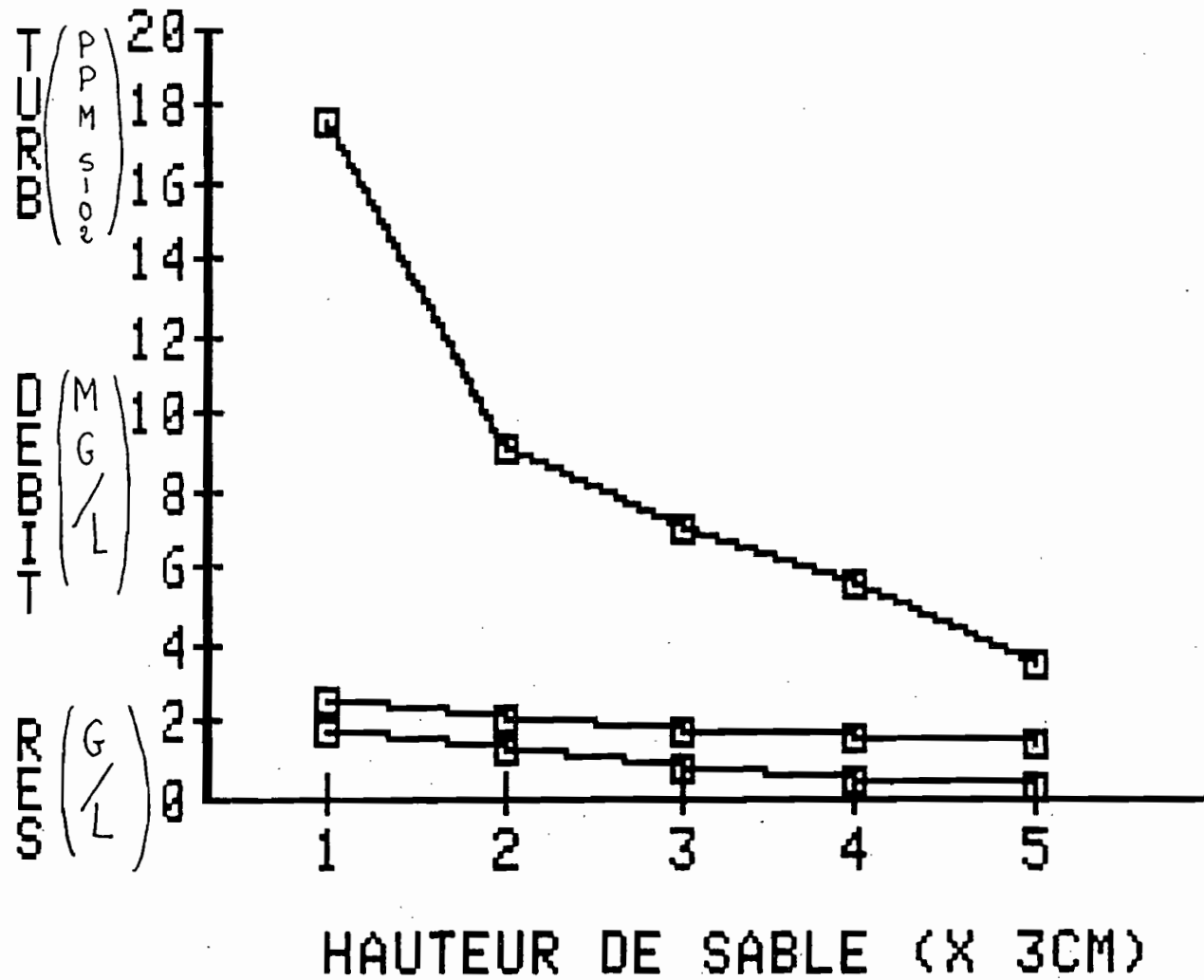
KEUR MOMAR SARR

TABLEAU RECAPITULATIF



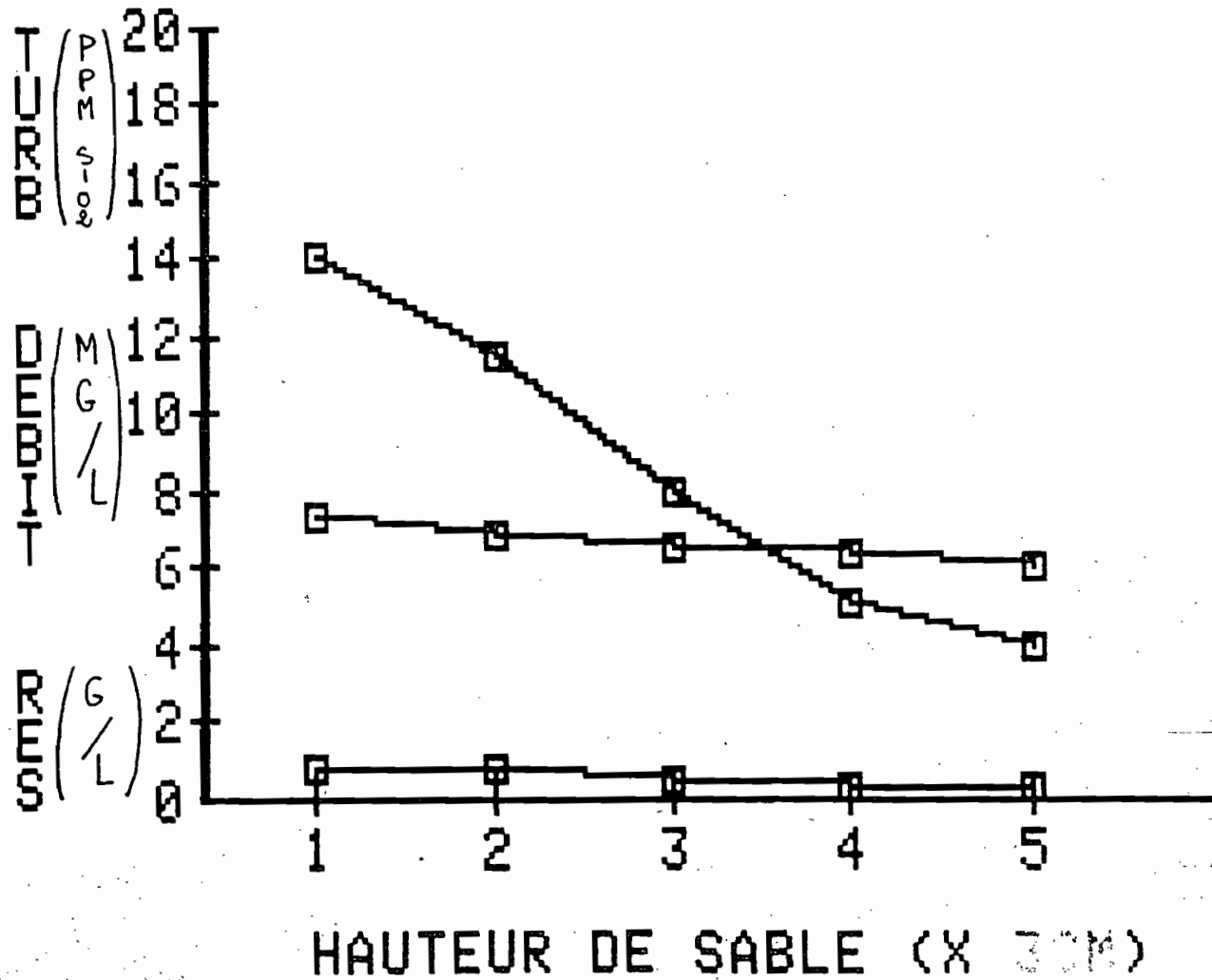
F E T O

TABLEAU RECAPITULATIF



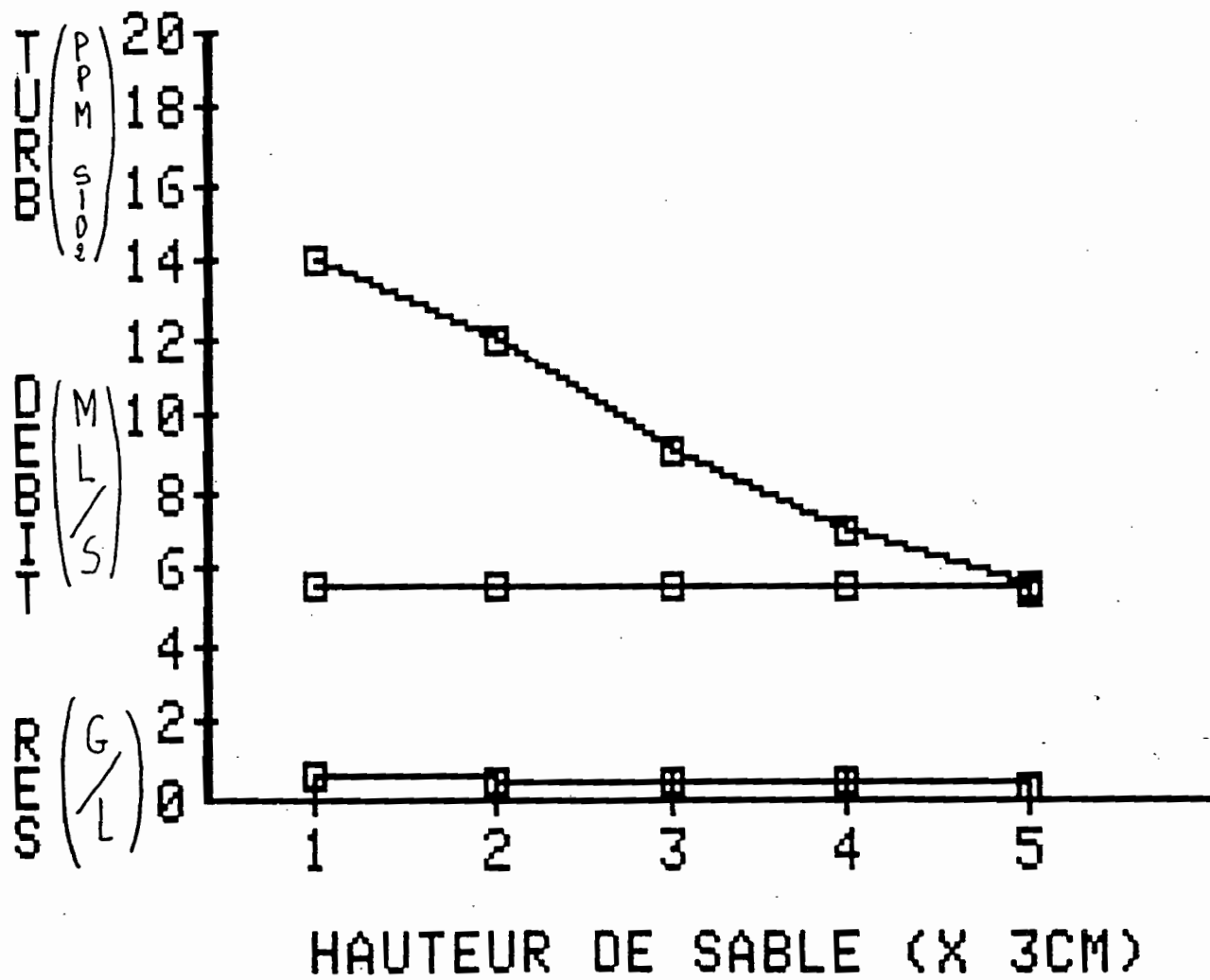
KEUR AYA

TABLEAU RECAPITULATIF



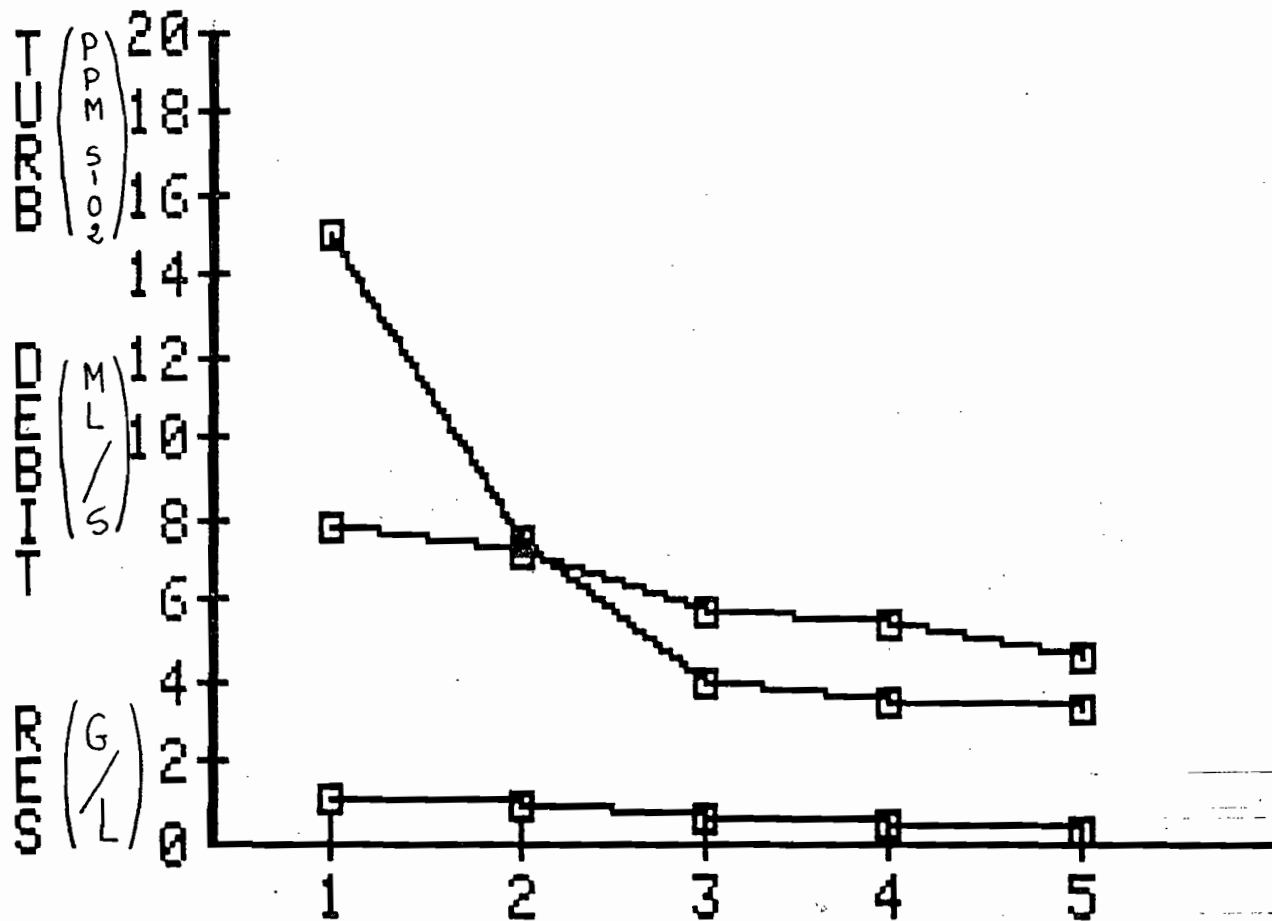
GANKETTE GUENTT

TABLEAU RECAPITULATIF



GANKETTE BALA

TABLEAU RECAPITULATIF



HAUTEUR DE SABLE (X 3 CM)

TABLEAU COMPARATIF

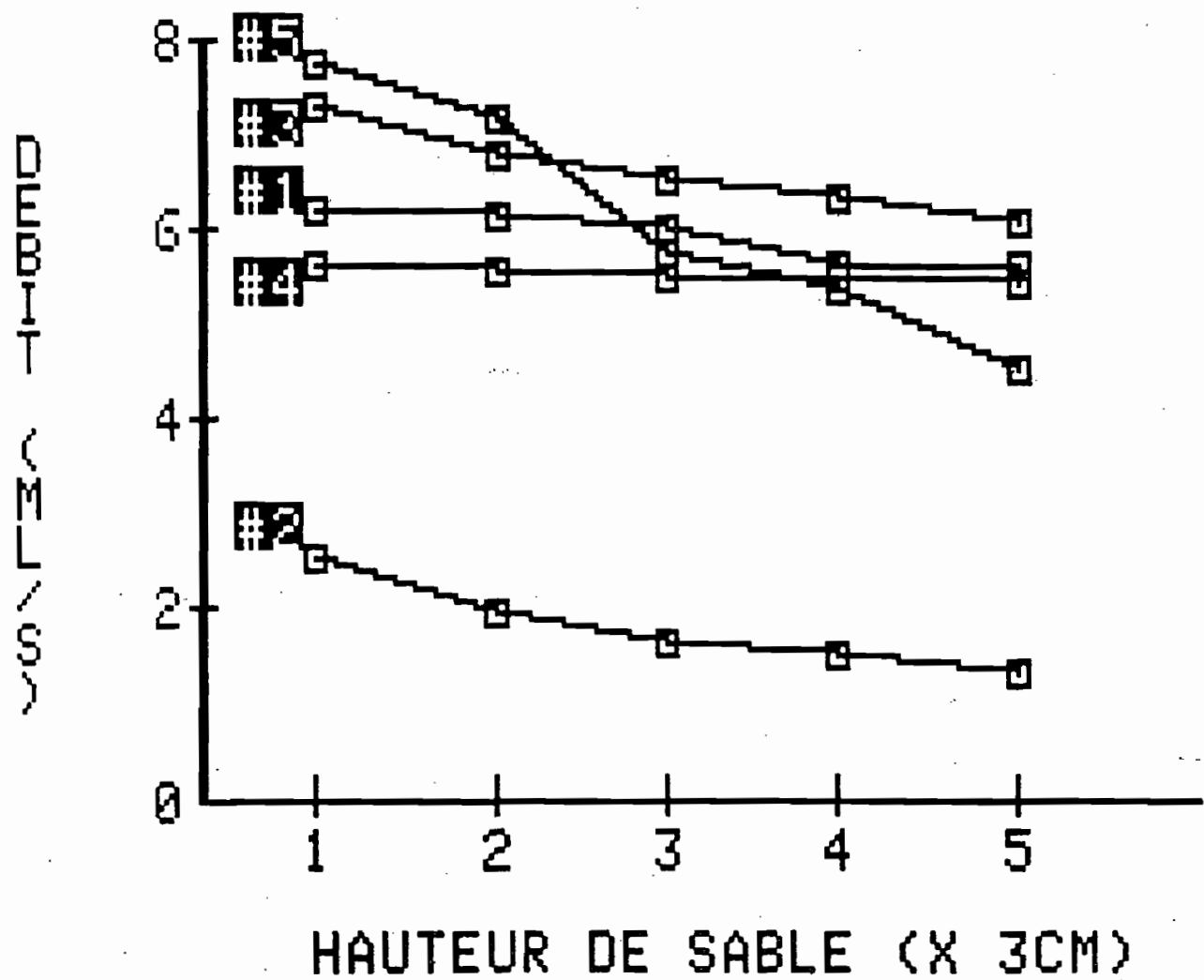
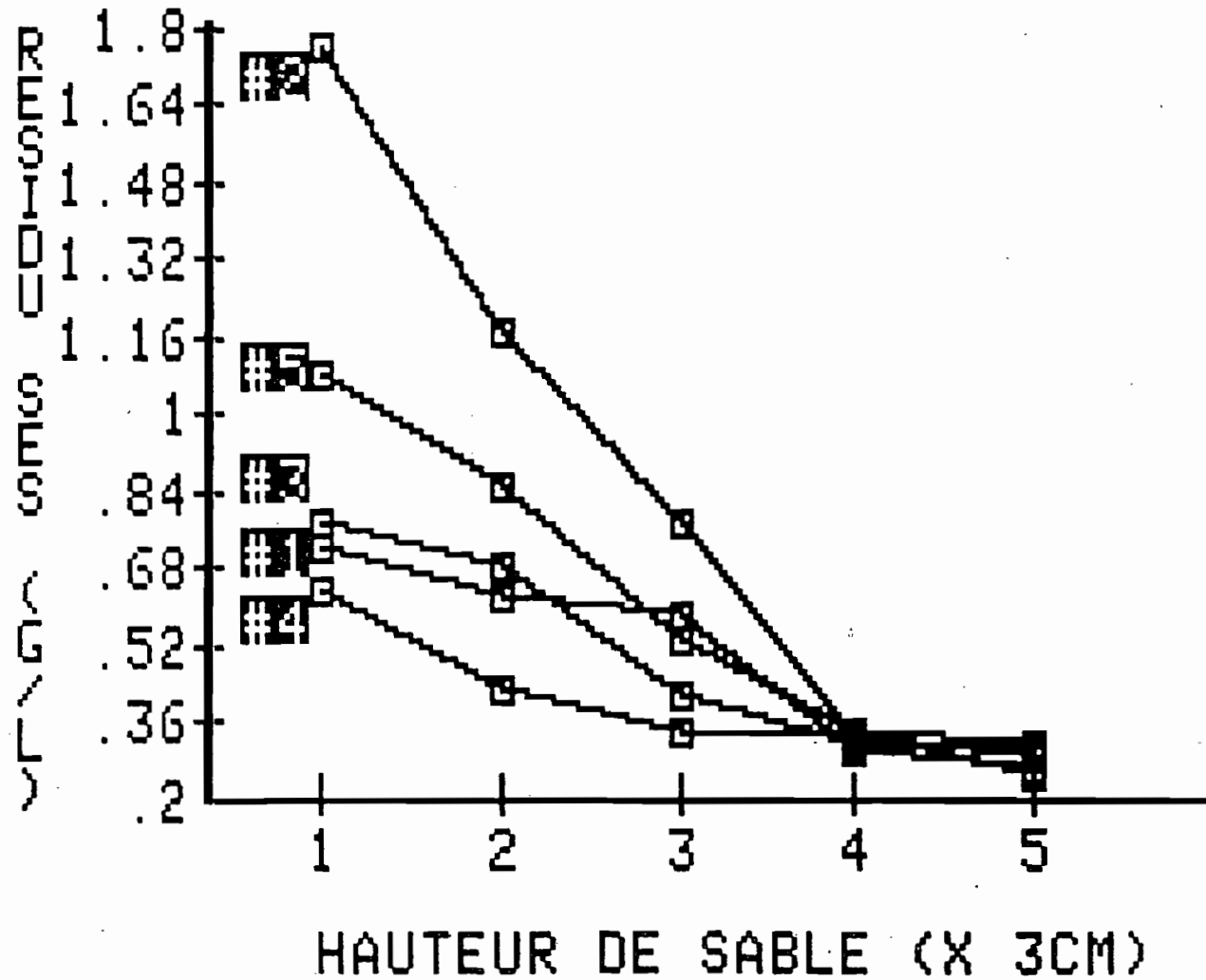
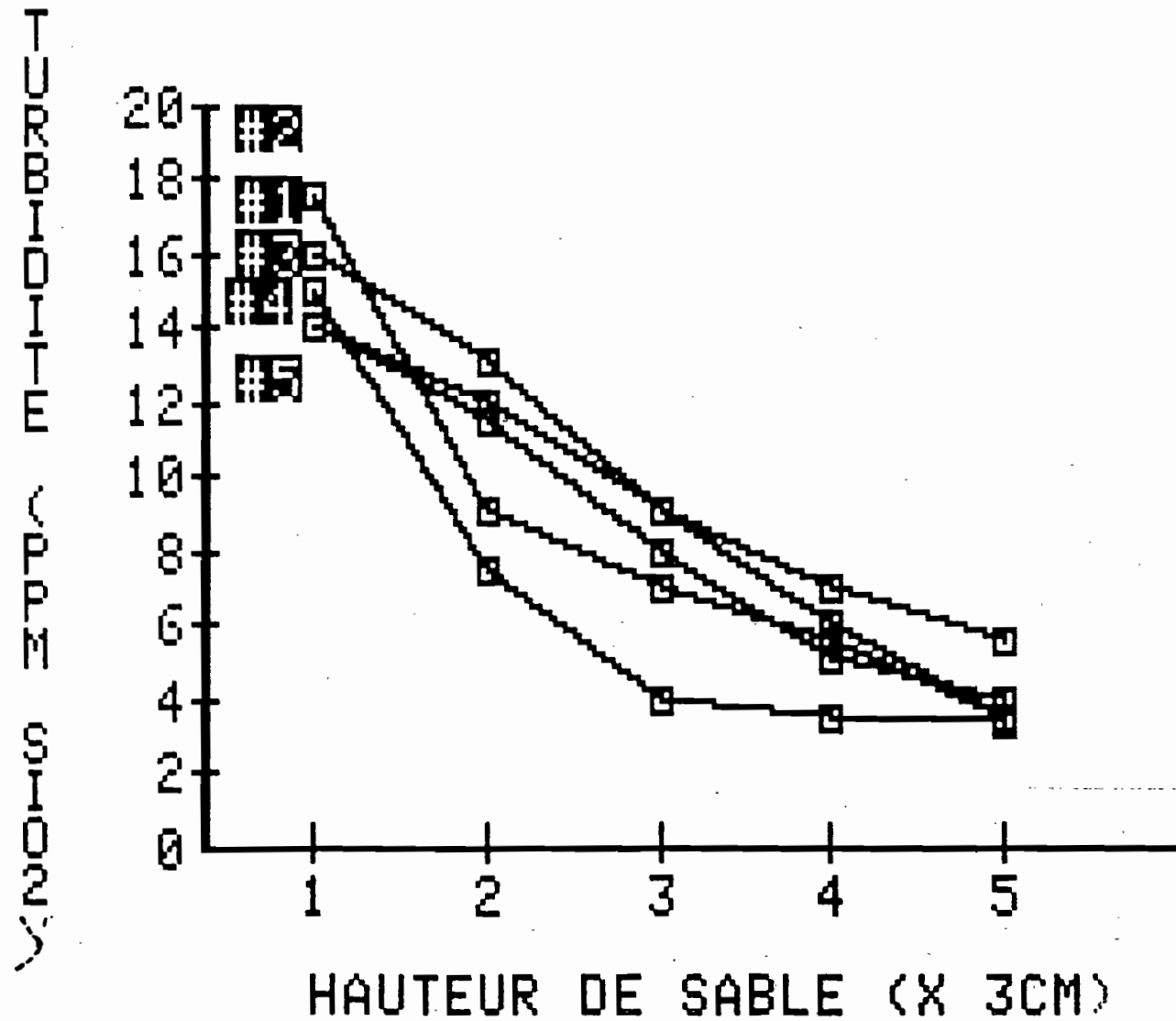


TABLEAU COMPARATIF





0 - INTERPRETATION DES RESULTATS EXPERIMENTAUX :

On va noter d'abord qu'au cours des manipulations, pour la hauteur de 3 cm, le filtrat entraîne toujours de petites particules qui augmentent considérablement la turbidité et le résidu sec. Ceci peut provenir du fait que le sable n'ait pas été bien lavé ou qu'il ne soit pas acceptable pour la filtration lente de par son degré de finesse.

D'après les courbes expérimentales obtenues, on se rend compte que pour tous les échantillons, on remarque que les trois paramètres utilisés: turbidité, résidu sec et débit diminuent en fonction de la hauteur du lit filtrant. Et à partir d'un certain moment, on a un pallier qui s'explique par l'atteinte de l'optimum en qualité. Ainsi, la turbidité, les pentes sont abruptes au début et atténuées à la fin.

D'après les courbes de comparaison, on se rend compte que :

- Les représentations ont à peu près la même allure et le même niveau suivant les types de sable. Ceci montre que la nature du matériau n'est pas d'une très grande influence sur la turbidité, mais leurs épaisseurs dans le bassin filtrant.

- Le débit dépend beaucoup plus de la nature du sable que de la hauteur du lit. Ainsi, on voit que la courbe # 2, celle du village de FETE, s'écarte complètement des autres courbes, ce qui est justifié par son rapport granulométrique qui donne un coefficient d'uniformité acceptable ($C_u = 2.09$), mais un diamètre efficace ($D_{10} = 0.09$), en dehors des normes d'application de la filtration lente. Ce qui justifie aisément la corrélation entre la théorie et la pratique et va faire que le sable de cette localité va être tamisé avant utilisation afin de diminuer son degré de finesse, c'est-à-dire augmenter son diamètre efficace.

- Le résidu sec dépend aussi bien de la nature du matériau que de la hauteur du lit. Ainsi, on note que la courbe # 2 se décale complètement des autres pour les faibles épaisseurs, mais, à partir d'un certain moment, les rejoignent tous pour former un pallier. Ce qui montre la zone de la filtration optimale qui a lieu à partir d'une hauteur de 4 cm.

Ainsi, ces résultats expérimentaux nous permettent de dimensionner directement le filtre familial.

On ne peut poursuivre notre étude sans pour autant signaler le fait de ne pas utiliser comme critère de qualité la bactériologie dont la seule explication est de ne pas disposer actuellement du matériel dans le laboratoire de l'EPT nous le permettant. Néanmoins, la faiblesse des résidus secs obtenus nous rassure fort bien sur cet état de fait.

CHAPITRE 9 : ETUDE ECONOMIQUE

L'étude économique de ce projet va engendrer les coûts des installations et d'exploitation.

<u>A. FILTRE FAMILIAL</u>	
A R T I C L E S	C O U T S (CFA)
1 - Bidon de profondeur 1.20 m	4.500
2 - Conduite de 60cm et vanne en P.V.C.	2.000
3 - Buselure	1.500
4 - Récipient pour la désinfection	1.500
T O T A L	9.500

<u>B - FILTRE COLLECTIF</u>	
A R T I C L E S	COÛTS (CFA)
1 - Bassin filtrant en aggro-armé, 13.5 m ³	675.000
2 - Réservoir de stockage de l'effluent en aggro-armé 20 m ³ (détails voir annexes)	1.000.000
3 - Station de pompage	400.000
4 - Cuves abreuvoirs, robinets et valves	200.000
5 - Gravier-support (silex : 1.35 m ³)	10.000
6 - Couverture en amiante-ciment (trois plaques)	15.000
T U T A L (implantation)	2.300.000
7 - Contingences : 10 % du coût d'implantation	230.000
8 - Administration : 10 % du coût d'implantation	230.000
9 - Plans, devis et surveillances des travaux	300.000
10 - Entretien annuel 5 % du coût d'installation	115.000
11 - Désinfection de l'eau mensuelle (Isolin).	20.000
<u>T U T A L DU PROJET</u>	3.195.000

EVALUATION DES COUTS
D'UN RESERVOIR AU SOL DE 20 L3.

A R T I C L E S	COUTS (CFA)
1 - Excavation et réglage	35.000
2 - Béton	250.000
3 - Agglo et mortier	390.000
4 - Crépis	120.000
5 - Toiture	74.000
6 - Transport des matériaux et provision (15 %)	130.350
T U T A L	999.350

C O N C L U S I O N

Dans nos pays en voie de développement, il est rare de voir une station de traitement d'eau potable autour des points d'eau douce. Ce qui est intolérable quand on sait qu'on dispose de beaucoup de systèmes qui peuvent être adaptés aux conditions locales. La filtration lente sur sable, largement exposé au cours de ce projet, en constitue une parfaite illustration.

Le lac de Guiers, choisi comme source d'adduction, possède une eau qui présente des caractéristiques propices à ce procédé de traitement, aussi bien sur le plan physique que chimique et bactériologique. Il n'en demeure pas moins que ses propriétés peuvent varier dans le temps.

D'après les échantillonnages effectués dans la communauté rurale de Keur Momar Sarr, il n'existe que trois villages dont le sable ne répond pas aux normes prescrites. Néanmoins, on pourra les utiliser en procédant à une simple opération de tamisage qui ne demande pas de moyens financiers notoires.

En outre, il se pose un problème de ravitaillement en gravier support approprié. Malgré la carrière locale de Gueu, nous nous dirigeons vers la région de THIES, précisément à TAIBA et LAM-LAM pour chercher du silex qui constitue un matériau très satisfaisant. Du fait que la quantité de gravier utilisée est très minime, son influence sur le coût global du projet est négligeable.

La désinfection de l'effluent va se faire par chloration qui est un moyen peu coûteux et facile d'application.

Ainsi, les filtres à sable lents sont rentables pour les raisons suivantes :

- Le coût et la facilité de la construction ;

- Son efficacité d'élimination des déchets, des goûts et des odeurs sans aucune opération de prétraitement ;
- Le coût et la facilité de l'exploitation ;
- La qualité de l'eau traitée.

On espère que cette étude sera, surtout dans nos pays en voie de développement, un encouragement à l'emploi de cette méthode de purification, excellente et sûre, que constitue la filtration lente.

DISCUSSIONS ET RECOMMANDATIONS

En campagne, tout choix de système d'alimentation en eau potable doit être influencé par une économie d'investissement et une simplicité d'exploitation. Cependant, l'équipement moderne conçu pour n'occasionner qu'un minimum de problèmes d'entretien est coûteux et son exploitation nécessite des compétences techniques; et l'installation moins coûteuse a constamment besoin d'entretien et de réparations. Par conséquent, il faut considérer le rapport coût efficacité pour sélectionner convenablement les modèles et les matériaux.

Ainsi, nos systèmes répondent bien à ces critères avec les coûts suivants :

- 8.000 f d'implantation et 1.500 f d'entretien pour le système individuel ;

- 2.300.000 f d'implantation et 135.000 f d'entretien pour le système collectif.

A partir de cette étude succincte, nous déduisons un certain nombre de recommandations qui sont :

1°) L'installation de filtre individuel dans les villages de moins de 500 habitants ;

2°) La réalisation de la station collective dans les communautés de plus de 500 habitants ;

3°) L'utilisation de calabasse comme bassin filtrant dans les petites foyers ruraux ;

4°) L'étude préliminaire de la possibilité de drainage de l'eau du lac par gravité pour éliminer les coûts de pompage ;

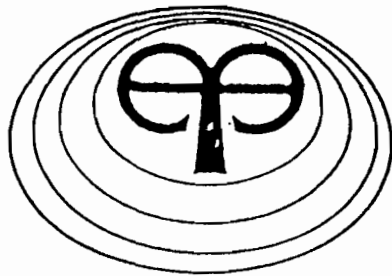
5°)- La supervision des travaux de construction par un ingénieur qui assurera le contrôle de qualité ;

6°) La gestion des installations par un groupe de trois personnes dont un technicien comme Chef d'équipe qui décidera du moment de lavage et se chargera d'assurer un fonctionnement continu du processus de purification.

Toutefois, la mise en place du système d'approvisionnement en eau potable doit être accompagnée de mesures simultanées dans les domaines de l'hygiène et de l'éducation sanitaire. En effet, dans presque tous les villages de la région, les gens croient fermement à cette citation de nos ancêtres: "l'eau qui coule est toujours pure". Ainsi, il faut insister sur la nécessité d'instruire les futurs usagers de ces systèmes dans les zones rurales, si on veut qu'ils en bénéficient. Les populations des campagnes doivent être amenées à saisir la relation scientifique existant entre l'eau et la maladie. Les C.E.R. peuvent s'acquitter assez bien de cette tâche si les organismes non gouvernementaux tels que le Church World Service ou le Centre de Recherche pour le Développement International (C.R.D.I.), leur accordent un puissant appui.

On ne peut achever ce rapport sans rappeler qu'en dépit de son orientation vers la région de Keur Momar Sarr, il peut être utilisé partout dans le monde. Il suffit simplement de l'adapter aux conditions locales.

**ECOLE
POLYTECHNIQUE DE THIES**



ANNEXES

A N N E X E S I : C A R A C T E R I S T I Q U E S D E L ' E N .
=====

AI : PROPRIETES CHIMIQUES DE L'EAU (11)

Substance	Nature des effets possibles	Concentration approximative au-delà de laquelle les effets risquent de se produire	Méthodes de dosage
Composés phénoliques (en phénol)	Goût désagréable notamment dans les eaux chlorées	Moins de 0,001/mg/l	Colorimétrie
Fluorures (en F)	Fluorose		a) Colorimétrie au réactif zirconium-alizarine. Les facteurs gênants (couleur, turbidité, chlore, phosphates) seront éliminés ou l'échantillon sera préalablement distillé. b) Méthode électrochimique-électrode Orion. c) Méthode colorimétrique SPADNS
* Nitrates (en NO ₃ ⁻)	Danger de méthémoglobinémie infantile si l'eau est consommée par des nourrissons	Recommandée : moins de 50 mg/l Acceptable : de 50 à 100 mg/l Déconseillée : plus de 100 mg/l, b, c	a) à l'acide phénoldisulfonique b) à la brucine c) Réduction par le couple zinc-cuivre, puis dosage de l'ammoniaque au réactif de Nessler, soit directement soit après distillation d) Méthode à l'acide salicylique
* Cuivre (en Cu)	Saveur astringente Coloration parasite Corrosion des canalisations, des joints et des ustensiles	0,05 mg/l à la station de pompage; 3,0 mg/l après 16 heures de contact avec des canalisations neuves	a) Spectrophotométrie d'absorption atomique b) Colorimétrie au diéthylthiocarbamate c) au cupréthol d) à la bathocupréine
* Fer (total, en Fe)	Goût désagréable Coloration parasite Dépôts et prolifération des ferrobactéries Turbidité	0,1 mg/l à l'entrée de l'eau dans le réseau	Colorimétrie
* Manganèse (en Mn)	Goût désagréable Coloration parasite Dépôts dans les canalisations Turbidité	0,05 mg/l	Colorimétrie
Zinc (en Zn)	Saveur astringente Opalescence et dépôts granuleux dans les canalisations	5,0 mg/l	a) Colorimétrie à la dithizone b) Microtitrage au ferrocyanure de potassium c) spectrophotométrie d'absorption atomique

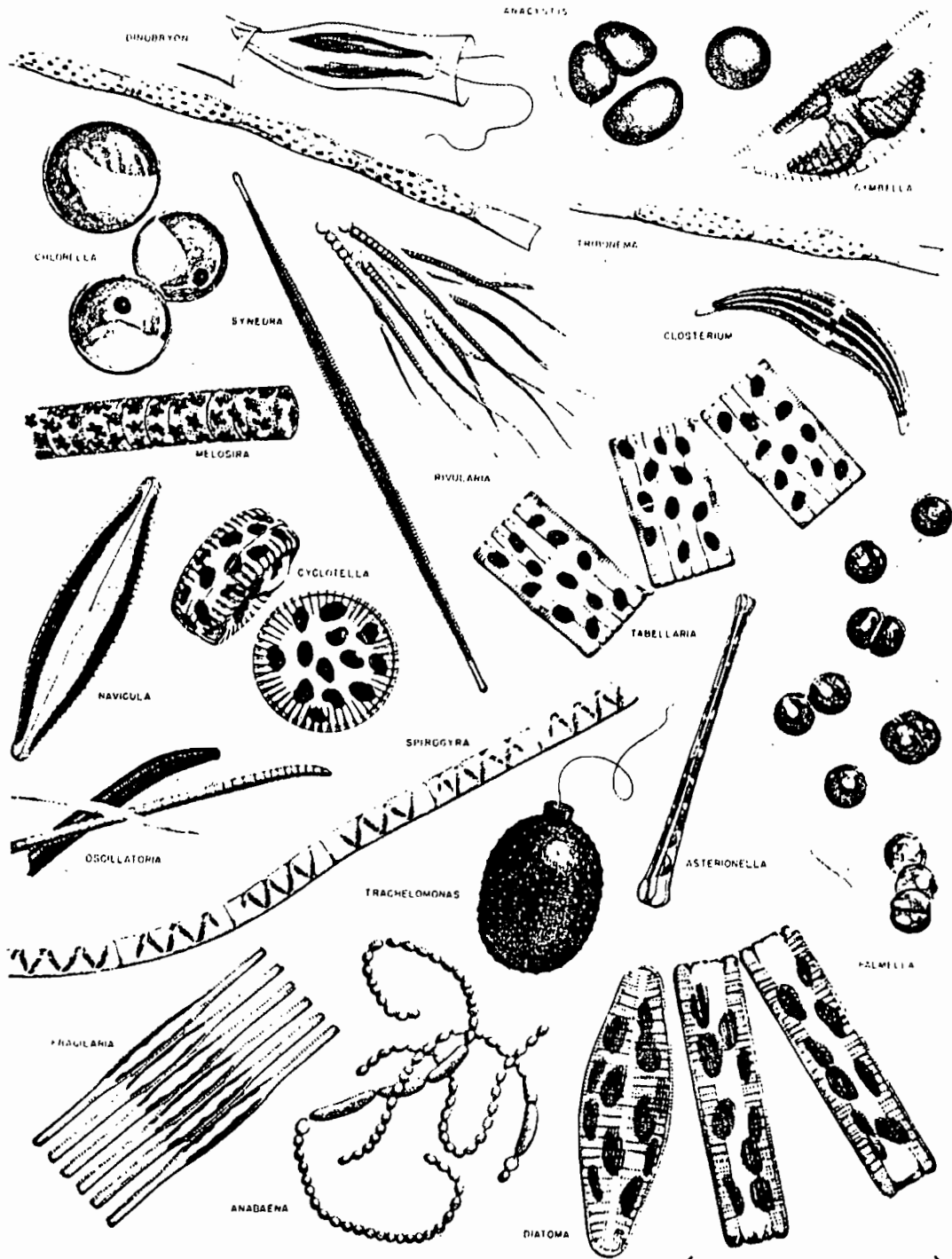
Magnésium (Mg)	Dureté Goût désagréable	Pas plus de 30 mg/l si l'eau contient 250 mg/l de sulfate; s'il y a moins de sulfate, la tolérance pour Mg peut atteindre 125 mg/l	Spectrophotométrie zole
Sulfates (en SO_4^{2-})	Irritation gastro-intestinale s'il y a association avec le magnésium ou le sodium	250 mg/l	a) au versénate b) gravimétrie en passant par le sulfate de baryum
Hydrogène sulfuré (en H_2S)	Goût et odeur désagréable	0,05 mg/l	Colorimétrie
Chlorures (en Cl)	Goût désagréable Corrosion des canalisations d'eau chaude	200 mg/l. Cette limite peut être dépassée dans certaines conditions, mais la concentration ne devra en aucun cas être supérieure à 600 mg/l	a) au moyen d'une solution étalonnée de nitrate d'argent en présence de chromate de potassium indicateur b) Colorimétrie c) Titrage au moyen de nitrate mercurique à pH 3,1 environ, en présence de diphényl-carbozone et de bleu de bromophénol indicateurs

TABEAU 5 (11)

1.1.2.7. Equilibre calco-carbonique d'une eau

Une grande partie des eaux destinées à la consommation, qui provient des couches supérieures de l'écorce terrestre, est du type bicarbonatée. CO_2 en solution dans l'eau forme l'ion CO_3^{2-} qui possède des propriétés acides. Le calcium de son côté forme en solution l'ion Ca^{2+} qui possède des propriétés basiques. Il existe donc un état d'équilibre entre ces deux propriétés antagonistes pour lequel le produit des concentrations en CO_3^{2-} et Ca^{2+} est égal à une constante caractéristique, dépendant de la température.

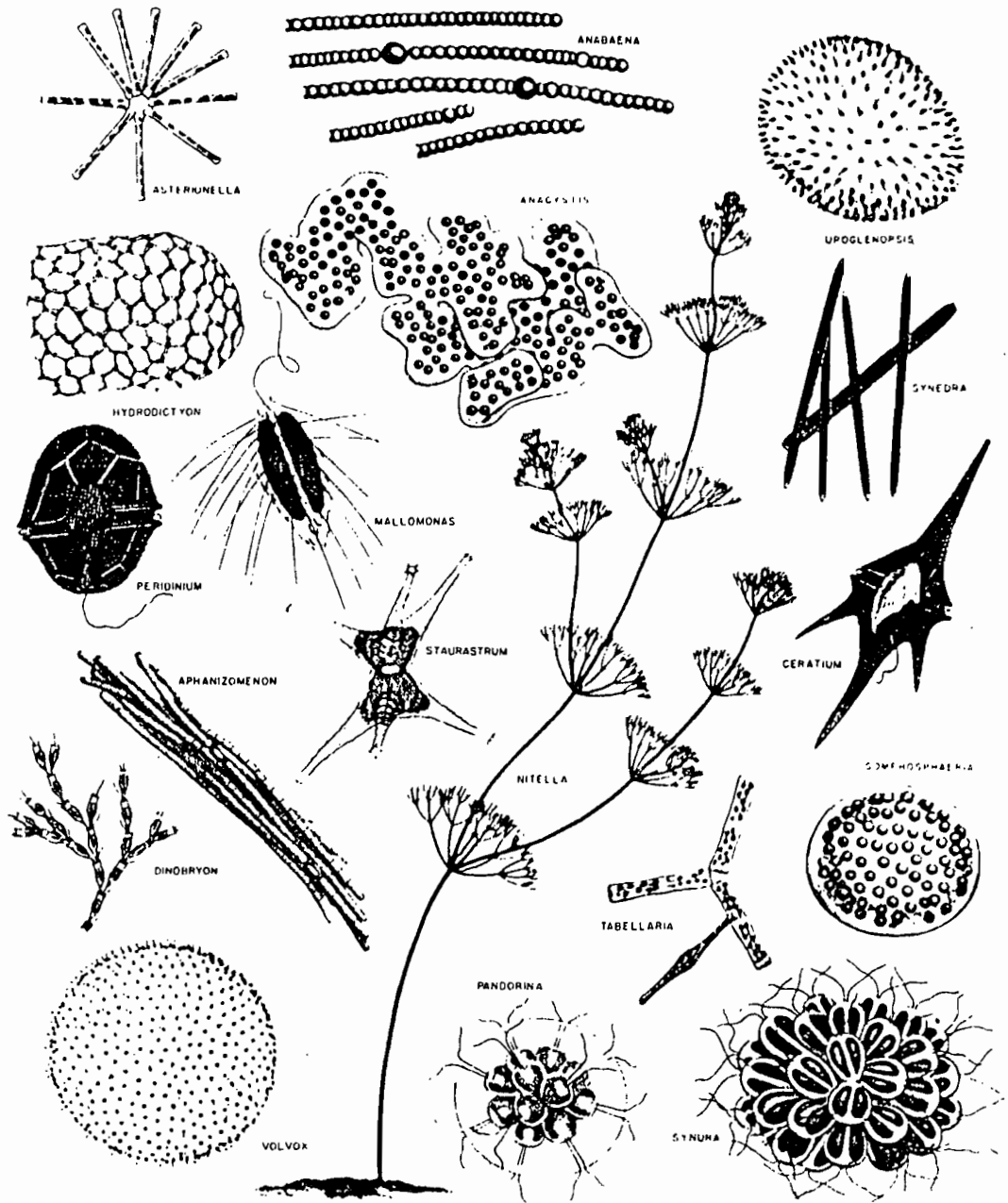
AI_C MICRO-ORGANISMES RESPONSABLES DU COLMATAGE DES FILTRES (3)



(D'après Palmer (1959), p. 28.)

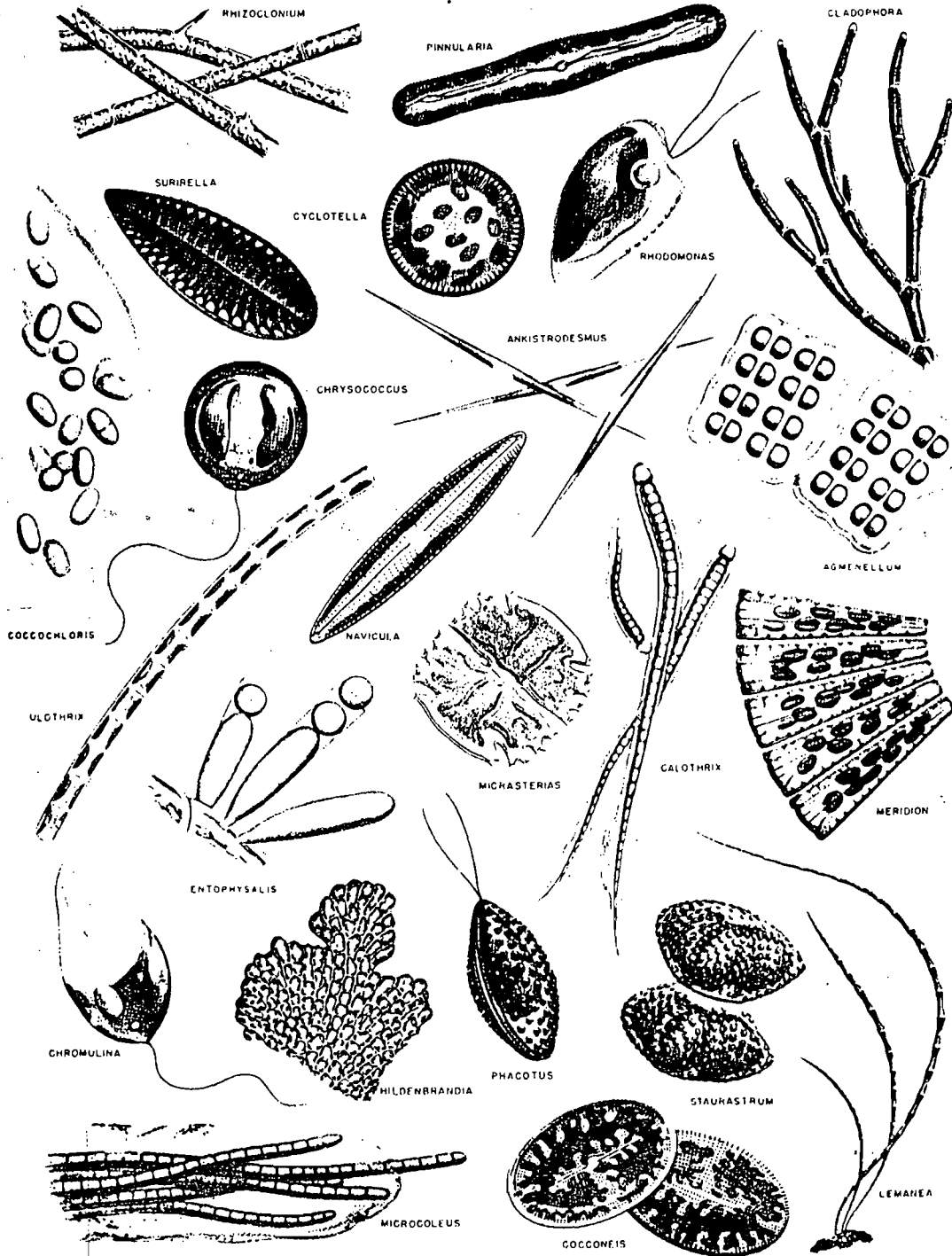
AI_b

MICRO-ORGANISMES RESPONSABLES DE CERTAINS GOÛTS ET ODEURS



(D'après Palmer (1959), p. 26.)

AI_d MICRO-ORGANISMES DES EAUX PROPRES



(D'après Palmer (1959), p. 32.)

ANNEXES II : RESULTATS DES ANALYSES GRANULOMETRIQUES.
=====

école polytechnique de thès

LABORATOIRE DE GEOTECHNIQUE
ANALYSE GRANULOMETRIQUE

ASTM
D 422

IDENTIFICATION 1

Echantillon prélevé à KEUR MOMAR SARR Manipulateur _____
Mohamed M. Diop Calculé _____ Date 9-1-1985

POIDS TOTAL DE L'ÉCHANTILLON REÇU AU LABORATOIRE & W% NATURELLE

Récepteur no.: _____ Sol humide + tare = _____ g ; Sol sec + tare = _____ g
Poids de l'eau = _____ g ; Tare = _____ g ; Poids sol sec = _____ g ; W% = _____
% de particules plus grandes que 150 mm (6 po.) = _____

POIDS DE LA FRACTION UTILISÉE (si différente du poids total)	TAMIS		POIDS DU SOL RETENU		% RETENU	% DU SOL PASSANT	
	pouces (mm)		INDIVIDUEL	CUMULATIF	CUMULATIF	CUMULATIF	CUMULATIF REPORTÉ
Récepteur no.: _____	3" (75)						
Sol + tare = _____ g	2" (50)						
Tare = _____ g	1 1/2" (37,5)						
Sol sec = _____ g	1 (25)						
SÉCHAGE	3/4" (19) 1/2" (13)						
<input type="checkbox"/> Air <input type="checkbox"/> Four	3/8" (9,5)						
Remarques _____	# 4 (4,75)						
	RÉSIDU					PERTES	
						Poids = _____ g ; % = _____	

RAYEZ LES TAMIS NON UTILISÉS

POIDS DE LA FRACTION UTILISÉE	TAMIS		POIDS DU SOL RETENU		% RETENU	% DU SOL PASSANT	
	Numéro (D mm)		INDIVIDUEL	CUMULATIF	CUMULATIF	CUMULATIF	CUMULATIF REPORTÉ
Récepteur no.: _____	# 4 (4,75)						
Sol + tare = _____ g	# 8 (2,36)	# 100 (0,25)	21.04	84.97	77.41	822.59	
Tare = _____ g	# 16 (1,18)	# 20 (0,85)	12.22	12.22	11.13	88.87	
Sol sec = <u>109.77</u> g	# 30 (0,60)	# 40 (0,42)	20.84	33.06	30.12	69.88	
SÉCHAGE	# 50 (0,30)	# 60 (0,25)	30.87	63.93	58.24	41.76	
<input checked="" type="checkbox"/> Air <input type="checkbox"/> Four	# 100 (0,15)	# 140 (0,106)	15.44	100.41	91.47	8.53	
TAMISAGE	# 200 (0,075)		6.90	107.31	97.76	2.24	
<input checked="" type="checkbox"/> à sec <input type="checkbox"/> lavage	RÉSIDU		1.36			PERTES	
SÉDIMENTOMÉTRIE						Poids = <u>1.10</u> g ; % = <u>1.0</u>	
<input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non							

REMARQUES (couleur sec-humide, forme des grains, matières organiques, W% nat., etc.)

DESCRIPTION NORMALISÉE : Sable un peu fin
Cu et Ds acceptables

école polytechnique de thiers

LABORATOIRE DE GEOTECHNIQUE		ASTM D 422
ANALYSE GRANULOMETRIQUE		
IDENTIFICATION <u>2</u>		
Echantillon prélevé à <u>FETO</u>		Manipulateur _____
<u>Mohamed M. Diop</u> Calculé		Date <u>9-1-1985</u>

POIDS TOTAL DE L'ÉCHANTILLON REÇU AU LABORATOIRE & W% NATURELLE
 Récipient no.: _____ Sol humide + tare = _____ g ; Sol sec + tare = _____ g
 Poids de l'eau = _____ g ; Tare = _____ g ; Poids sol sec = _____ g ; W% = _____
 % de particules plus grandes que 150 mm (6 po.) = _____

POIDS DE LA FRACTION UTILISÉE (si différente du poids total)	TAMIS		POIDS DU SOL RETENU		% RETENU	% DU SOL PASSANT	
	pouces (mm)		INDIVIDUEL	CUMULATIF	CUMULATIF	CUMULATIF	CUMULATIF REPORTÉ
Récipient no.: _____	3"	(75)					
Sol + tare = _____ g	2"	(50)					
Tare = _____ g	1 1/2"	(37,5)					
Sol sec = _____ g	1	(25)					
SÉCHAGE	3/4"	(19)	1/2"	(13)			
<input type="checkbox"/> Air <input type="checkbox"/> Four	3/8"	(9,5)					
Remarques _____	# 4	(4,75)					
	RÉSIDU					PERTES	
						POIDS = _____ g ; % = _____	

RAYEZ LES TAMIS NON UTILISÉS

POIDS DE LA FRACTION UTILISÉE	TAMIS		POIDS DU SOL RETENU		% RETENU	% DU SOL PASSANT	
	Numéro (D mm)		INDIVIDUEL	CUMULATIF	CUMULATIF	CUMULATIF	CUMULATIF REPORTÉ
Récipient no.: _____	# 4	(4,75)					
Sol + tare = _____ g	# 8	(2,36)	39.87	125.85	77.10	22.9	
Tare = _____ g	# 100	(0,25)					
Sol sec = <u>163.24</u> g	# 16	(0,85)	0	0	0	100	
SÉCHAGE	# 30	(0,60)	5.76	5.76	3.53	96.5	
<input checked="" type="checkbox"/> Air <input type="checkbox"/> Four	# 40	(0,42)					
TAMISAGE	# 50	(0,30)	80.22	85.98	52.67	47.3	
<input checked="" type="checkbox"/> à sec <input type="checkbox"/> lavage	# 60	(0,25)					
SÉDIMENTOMÉTRIE	# 100	(0,15)	14.10	139.95	85.73	14.3	
<input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non	# 140	(0,106)					
	# 200	(0,075)	12.80	152.75	93.73	6.4	
	RÉSIDU		9.67			PERTES	
						Poids = <u>0.82</u> g ; % = <u>0.50</u>	

REMARQUES (couleur sec-humide, forme des grains, matières organiques, w% nat., etc.)

DESCRIPTION NORMALISÉE : Sable très fin.

école polytechnique de thès

LABORATOIRE DE GEOTECHNIQUE		ASTM D 422
ANALYSE GRANULOMETRIQUE		
IDENTIFICATION: 3		
Echantillon prélevé à <u>KEUR AYA</u>		Manipulateur _____
<u>Mohamed M. Diop</u>		Calculé _____
		Date <u>9-1-85</u>

POIDS TOTAL DE L'ÉCHANTILLON REÇU AU LABORATOIRE & W% NATURELLE

Récepteur no.: _____ Sol humide + tare = _____ g ; Sol sec + tare = _____ g
 Poids de l'eau = _____ g ; Tare = _____ g ; Poids sol sec = _____ g ; W% = _____
 % de particules plus grandes que 150 mm (6 po.) = _____

POIDS DE LA FRACTION UTILISÉE (si différente du poids total)	TAMIS		POIDS DU SOL RETENU		% RETENU		% DU SOL PASSANT	
	pouces (mm)		INDIVIDUEL	CUMULATIF	CUMULATIF	CUMULATIF	CUMULATIF	CUMULATIF REPORTÉ
Récepteur no.: _____	3" (75)							
Sol + tare = _____ g	2" (50)							
Tare = _____ g	1 1/2" (37,5)							
Sol sec = _____ g	1 (25)							
SÉCHAGE	3/4" (19)	1/2" (13)						
<input type="checkbox"/> Air <input type="checkbox"/> Four	3/8" (9,5)							
Remarques _____	# 4 (4,75)							
	RÉSIDU						PERTES	
							POIDS = _____ g ; % = _____	

RAYEZ LES TAMIS NON UTILISÉS

POIDS DE LA FRACTION UTILISÉE	TAMIS		POIDS DU SOL RETENU		% RETENU		% DU SOL PASSANT	
	Numéro (D mm)		INDIVIDUEL	CUMULATIF	CUMULATIF	CUMULATIF	CUMULATIF	CUMULATIF REPORTÉ
Récepteur no.: _____	# 4 (4,75)							
Sol + tare = _____ g	# 8 (2,36)	# 100 (0,85)	32.35	107.97	80.84	19.16		
Tare = _____ g	# 16 (1,18)	# 20 (0,85)	3.92	3.92	2.94	97.06		
Sol sec = <u>133.56</u> g	# 30 (0,60)	# 40 (0,42)	25.88	29.8	22.31	77.69		
SÉCHAGE	# 50 (0,30)	# 60 (0,25)	45.82	75.62	56.62	43.38		
<input checked="" type="checkbox"/> Air <input type="checkbox"/> Four	# 100 (0,15)	# 140 (0,106)	14.54	122.51	91.73	8.27		
TAMISAGE	# 200 (0,075)		7.64	130.15	97.45	2.55		
<input checked="" type="checkbox"/> à sec <input type="checkbox"/> lavage	RÉSIDU						PERTES	
SÉDIMENTOMÉTRIE			2.55				Poids = <u>0.86</u> g ; % = <u>0.64</u>	
<input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non								

REMARQUES (couleur sec-humide, forme des grains, matières organiques, W% nat., etc..)

DESCRIPTION NORMALISÉE : Sable un peu fin

école polytechnique de thiers

LABORATOIRE DE GEOTECHNIQUE		ASTM D 422
ANALYSE GRANULOMETRIQUE		
IDENTIFICATION <u>4</u>		
Echantillon prélevé à <u>GANKETTE GUENTI</u>		Manipulateur _____
<u>Mohamed M. Diop</u> Calculé _____		Date <u>9-1-1985</u>

POIDS TOTAL DE L'ÉCHANTILLON REÇU AU LABORATOIRE ≠ W% NATURELLE

Récepteur no. : _____ Sol humide + tare = _____ g ; Sol sec + tare = _____ g
 Poids de l'eau : _____ g ; Tare = _____ g ; Poids sol sec = _____ g ; W% = _____
 % de particules plus grandes que 150 mm (6 po.) = _____

POIDS DE LA FRACTION UTILISÉE (si différente du poids total)	TAMIS		POIDS DU SOL RETENU		% RETENU	% DU SOL PASSANT	
	pouces (mm)		INDIVIDUEL	CUMULATIF	CUMULATIF	CUMULATIF	CUMULATIF REPORTÉ
Récepteur no. : _____	3" (75)						
Sol + tare = _____ g	2" (50)						
Tare = _____ g	1 1/2" (37,5)						
Sol sec = _____ g	1 (25)						
SÉCHAGE	3/4" (19)	1/2" (13)					
<input type="checkbox"/> Air <input type="checkbox"/> Four	3/8" (9,5)						
Remarques _____	# 4 (4,75)						
	RÉSIDU					PERTES	
						POIDS = _____ g ; % = _____	

RAYEZ LES TAMIS NON UTILISÉS

POIDS DE LA FRACTION UTILISÉE	TAMIS		POIDS DU SOL RETENU		% RETENU	% DU SOL PASSANT	
	Numéro (D mm)		INDIVIDUEL	CUMULATIF	CUMULATIF	CUMULATIF	CUMULATIF REPORTÉ
Récepteur no. : _____	# 4 (4,75)				0		
Sol + tare = _____ g	# 8 (2,36)	# 100 (0,15)	29.33	112.38	77.71	22.29	
Tare = _____ g	# 16 (1,18)	# 20 (0,85)	6.49	6.49	4.49	95.51	
Sol sec = <u>114.62 g</u>	# 30 (0,60)	# 40 (0,42)	16.35	22.84	25.79	84.21	
SÉCHAGE	# 50 (0,30)	# 60 (0,25)	60.21	83.05	57.43	42.57	
<input checked="" type="checkbox"/> Air <input type="checkbox"/> Four	# 100 (0,15)	# 140 (0,106)	17.90	130.28	90.08	9.92	
TAMISAGE	# 200 (0,075)		8.10	138.38	95.68	4.31	
<input checked="" type="checkbox"/> à sec <input type="checkbox"/> lavage	RÉSIDU		4.87			PERTES	
SÉDIMENTOMÉTRIE						Poids = <u>1.42 g</u> ; % = <u>0.98</u>	
<input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non							

REMARQUES (couleur sec-humide, forme des grains, matières organiques, W% nat., etc.)

DESCRIPTION NORMALISÉE : _____

école polytechnique de thiers

LABORATOIRE DE GEOTECHNIQUE ANALYSE GRANULOMETRIQUE

ASTM
D 422

IDENTIFICATION §

Echantillon prélevé à GANKETTE BALA 2 Manipulateur _____
Mohamed M. Diop Calculé _____ Date 9-1-1985

POIDS TOTAL DE L'ÉCHANTILLON REÇU AU LABORATOIRE & W% NATURELLE
 Récipient no.: _____ Sol humide + tare = _____ g ; Sol sec + tare = _____ g
 Poids de l'eau = _____ g ; Tare = _____ g ; Poids sol sec = _____ g ; W% = _____
 % de particules plus grandes que 150 mm (6 po.) = _____

POIDS DE LA FRACTION UTILISÉE (si différente du poids total)	TAMIS pouces (mm)		POIDS DU SOL RETENU		% RETENU	% DU SOL PASSANT	
			INDIVIDUEL	CUMULATIF	CUMULATIF	CUMULATIF	CUMULATIF REPORTÉ
Récipient no.: _____	3"	(75)					
Sol + tare = _____ g	2"	(50)					
Tare = _____ g	1 1/2"	(37,5)					
Sol sec = _____ g	1	(25)					
SÉCHAGE	3/4"	(19) 1/2"	(13)				
<input type="checkbox"/> Air <input type="checkbox"/> Four	3/8"	(9,5)					
Remarques _____	# 4	(4,75)					
	RÉSIDU					PERTES	
						Poids = _____ g ; % = _____	

RAYEZ LES TAMIS NON UTILISÉS

POIDS DE LA FRACTION UTILISÉE	TAMIS Numéro (D mm)		POIDS DU SOL RETENU		% RETENU	% DU SOL PASSANT	
			INDIVIDUEL	CUMULATIF	CUMULATIF	CUMULATIF	CUMULATIF REPORTÉ
Récipient no.: _____	# 4	(4,75)					
Sol + tare = _____ g	# 8	# 100	9.65	60.55	87.50	12.5	
Tare = _____ g	(2,36)	(0,26)					
Sol sec = <u>69.20</u> g	# 16	# 20	1.11	1.11	1.60	98.40	
SÉCHAGE	(1,18)	(0,85)					
<input checked="" type="checkbox"/> Air <input type="checkbox"/> Four	# 30	# 40	22.00	23.11	33.40	66.60	
TAMISAGE	(0,60)	(0,42)					
<input checked="" type="checkbox"/> à sec <input type="checkbox"/> lavage	# 50	# 60	27.79	50.90	73.55	26.46	
SÉDIMENTOMÉTRIE	(0,30)	(0,25)					
<input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non	# 100	# 140	2.15	62.70	90.61	9.39	
	(0,15)	(0,106)					
	# 200	(0,075)	2.79	65.49	94.64	5.36	
	RÉSIDU		3.10			PERTES	
						Poids = <u>0.61</u> g ; % = <u>0.88</u>	

REMARQUES (couleur sec-humide, forme des grains, matières organiques, W% nat., etc.)

DESCRIPTION NORMALISÉE :

école polytechnique de thiers

LABORATOIRE DE GEOTECHNIQUE ANALYSE GRANULOMETRIQUE

ASTM
D 422

IDENTIFICATION 6

Echantillon prélevé à DIOKOUL Manipulateur _____
Mohamed Mahrouf Diop calculé _____ Date 9-1-1985

POIDS TOTAL DE L'ÉCHANTILLON REÇU AU LABORATOIRE & W% NATURELLE
 Récepteur no.: _____ Sol humide + tare = _____ g ; Sol sec + tare = _____ g
 Poids de l'eau = _____ g ; Tare = _____ g ; Poids sol sec = _____ g ; W% = _____
 % de particules plus grandes que 150 mm (6 po.) = _____

POIDS DE LA FRACTION UTILISÉE (si différente du poids total)	TAMIS		POIDS DU SOL RETENU		% RETENU	% DU SOL PASSANT	
	pouces (mm)		INDIVIDUEL	CUMULATIF	CUMULATIF	CUMULATIF	CUMULATIF REPORTÉ
Récepteur no.: _____	3"	(75)					
Sol + tare = _____ g	2"	(50)					
Tare = _____ g	1 1/2"	(37,5)					
Sol sec = _____ g	1	(25)					
SÉCHAGE	3/4"	(19)	1/2"	(13)			
<input type="checkbox"/> Air <input type="checkbox"/> Four	3/8"	(9,5)					
Remarques _____	# 4	(4,75)					
	RÉSIDU					PERTES	
						POIDS = _____ g ; % = _____	

RAYEZ LES TAMIS NON UTILISÉS

POIDS DE LA FRACTION UTILISÉE	TAMIS		POIDS DU SOL RETENU		% RETENU	% DU SOL PASSANT	
	Numéro (D mm)		INDIVIDUEL	CUMULATIF	CUMULATIF	CUMULATIF	CUMULATIF REPORTÉ
Récepteur no.: _____	# 4	(4,75)					
Sol + tare = _____ g	# 8	# 100	41.67	118.10	77.11	22.89	
Tare = _____ g	(2,36)	(0,85)					
Sol sec = <u>153.16</u> g	# 16	# 20	0	0	0	100	
SÉCHAGE	(1,18)	(0,85)					
<input checked="" type="checkbox"/> Air <input type="checkbox"/> Four	# 30	# 40	13.00	13.00	8.49	91.51	
TAMISAGE	(0,60)	(0,42)					
<input checked="" type="checkbox"/> à sec <input type="checkbox"/> lavage	# 50	# 60	63.43	76.43	49.90	50.1	
SÉDIMENTOMÉTRIE	(0,30)	(0,25)					
<input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non	# 100	# 140	17.92	136.02	88.81	12.19 → 9.49	
	(0,15)	(0,106)					
	# 200	(0,075)	7.75	143.77	93.87	6.13	
	RÉSIDU					PERTES	
			6.80			Poids = <u>2.59</u> g ; % = <u>1.7</u>	

REMARQUES (couleur sec-humide, forme des grains, matières organiques, W% nat., etc.)

DESCRIPTION NORMALISÉE :



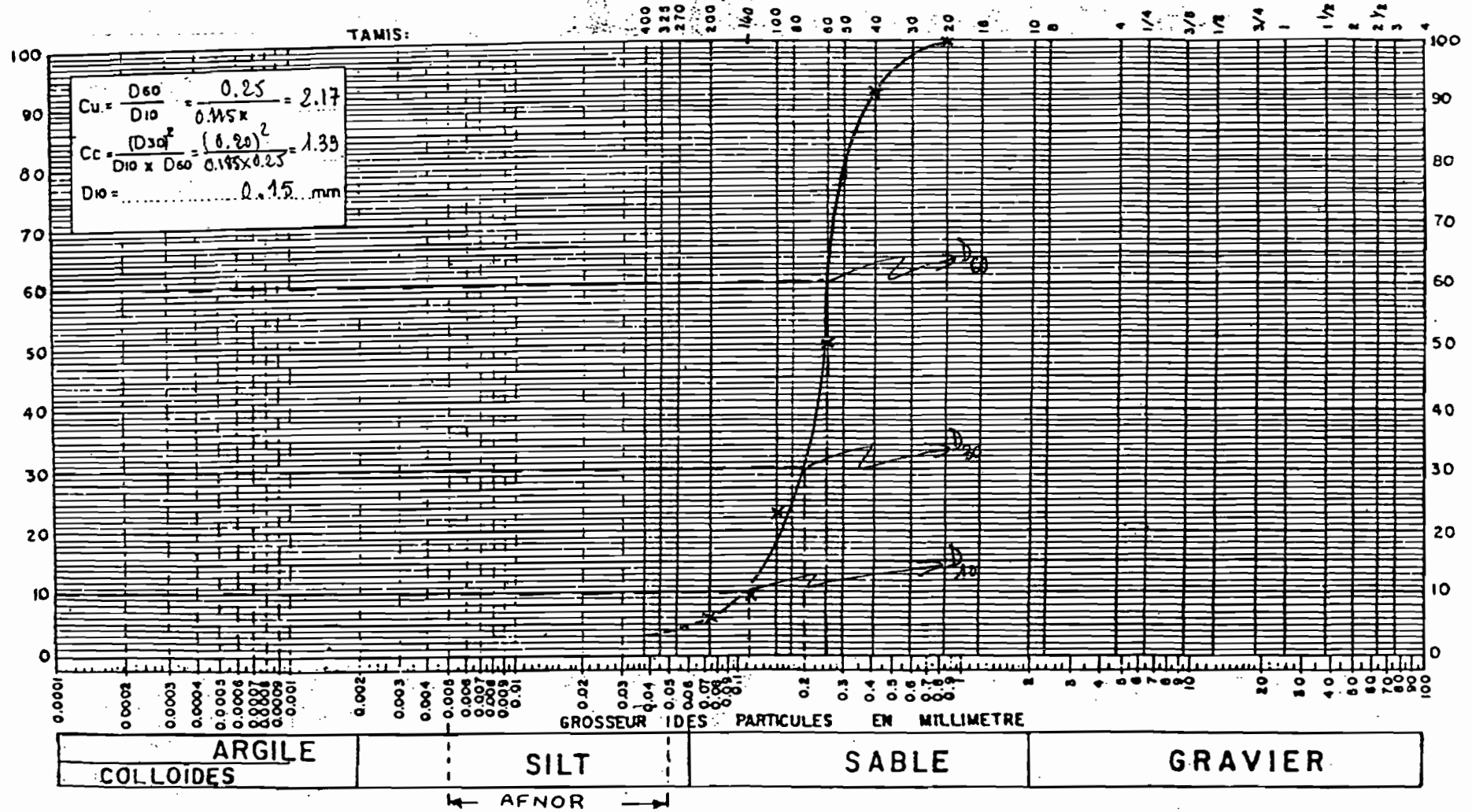
école polytechnique de thies

Boite Postale 10, Thies, République du Sénégal

DATE 9-1-1985

ECHANTILLON NO. 6

COURBE GRANULOMETRIQUE



Description : Sable de granulométrie acceptable

Remarques : _____

école polytechnique de thiers

LABORATOIRE DE GEOTECHNIQUE ANALYSE GRANULOMETRIQUE

ASTM
D 422

IDENTIFICATION 7

Echantillon prélevé à GANKETTE BALA 1 Manipulateur _____

Mohamed M. Diop Calculé _____ Date 3.1.1985

POIDS TOTAL DE L'ÉCHANTILLON REÇU AU LABORATOIRE & W% NATURELLE

Récipient no.: _____ Sol humide + tare = _____ g ; Sol sec + tare = _____ g

Poids de l'eau = _____ g ; Tare = _____ g ; Poids sol sec = _____ g ; W% = _____

% de particules plus grandes que 150 mm (6 po.) = _____

POIDS DE LA FRACTION UTILISÉE (si différente du poids total)	TAMIS		POIDS DU SOL RETENU		% RETENU	% DU SOL PASSANT	
	pouces (mm)		INDIVIDUEL	CUMULATIF	CUMULATIF	CUMULATIF	CUMULATIF REPORTÉ
Récipient no.: _____ Sol + tare = _____ g Tare = _____ g Sol sec = _____ g SÉCHAGE <input type="checkbox"/> Air <input type="checkbox"/> Four Remarques _____	3" (75)						
	2" (50)						
	1 1/2" (37,5)						
	1 (25)						
	3/4" (19) 1/2" (13)						
	3/8" (9,5)						
	# 4 (4,75)						
	RÉSIDU						
						PERTES Poids = _____ g ; % = _____	

RAYEZ LES TAMIS NON UTILISÉS

POIDS DE LA FRACTION UTILISÉE	TAMIS		POIDS DU SOL RETENU		% RETENU	% DU SOL PASSANT	
	Numéro (D mm)		INDIVIDUEL	CUMULATIF	CUMULATIF	CUMULATIF	CUMULATIF REPORTÉ
Récipient no.: _____ Sol + tare = _____ g Tare = _____ g Sol sec = <u>104.70</u> g SÉCHAGE <input checked="" type="checkbox"/> Air <input type="checkbox"/> Four TAMISAGE <input checked="" type="checkbox"/> à sec <input type="checkbox"/> lavage SÉDIMENTOMÉTRIE <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non	# 4 (4,75)						
	# 8 (2,36)	# 100 (0,15)	29.79	95.09	90.92	9.15	
	# 16 (1,18)	# 20 (0,85)	0.36	0.36	0.34	99.63	
	# 30 (0,60)	# 40 (0,42)	10.20	10.56	10.09	89.88	
	# 50 (0,30)	# 60 (0,25)	55.74	66.30	63.32	36.65	
	# 100 (0,15)	# 140 (0,106)	4.25	99.34	94.88	5.09	
	# 200 (0,075)		3.33	102.67	98.06	1.91	
	RÉSIDU		2g				
					PERTES Poids = <u>0.03</u> g ; % = <u>0.03</u>		

REMARQUES (couleur sec-humide, forme des grains, matières organiques, W% nat., etc.)

DESCRIPTION NORMALISÉE :



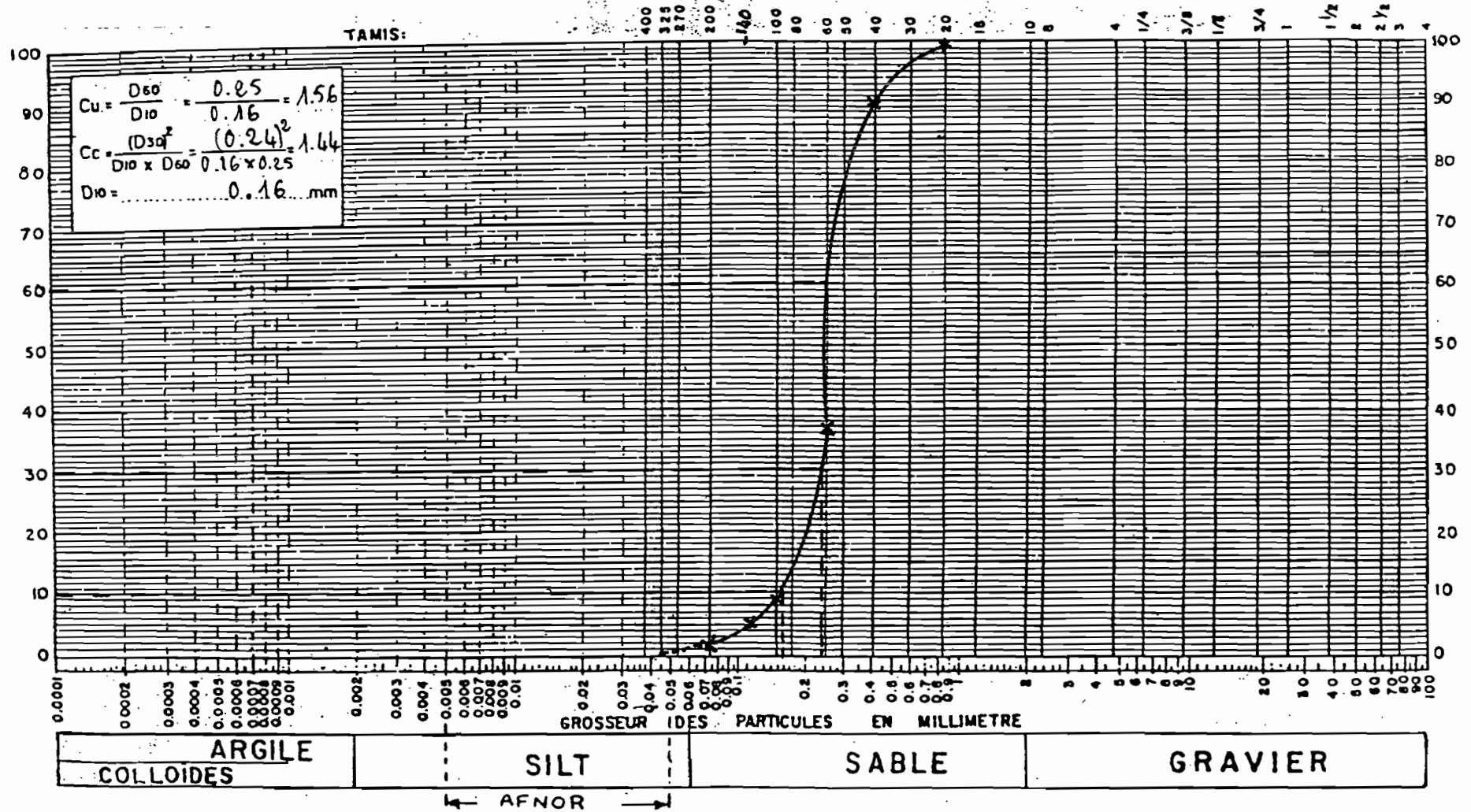
école polytechnique de thiès

Boite Postale 10, Thiès, République du Sénégal

DATE 9-1-1985

ECHANTILLON NO. 7

COURBE GRANULOMETRIQUE



Description : Sable de grosseur normale

Remarques : Il présente toutes les qualités d'une bonne filtration.

école polytechnique de thiers

LABORATOIRE DE GEOTECHNIQUE		ASTM D 422
ANALYSE GRANULOMETRIQUE		
IDENTIFICATION <u>8 6</u>		
Echantillon prélevé à <u>GUEW</u>		Manipulateur _____
<u>Mohamed M. Diop</u>		Calculé _____
		Date <u>9-1-1985</u>

POIDS TOTAL DE L'ÉCHANTILLON REÇU AU LABORATOIRE & W% NATURELLE
 Récepteur no. : _____ Sol humide + tare = _____ g ; Sol sec + tare = _____ g
 Poids de l'eau = _____ g ; Tare = _____ g ; Poids sol sec = _____ g ; W% = _____
 % de particules plus grandes que 150 mm (6 po.) = _____

POIDS DE LA FRACTION UTILISÉE (si différente du poids total)	TAMIS		POIDS DU SOL RETENU		% RETENU	% DU SOL PASSANT	
	pouces (mm)		INDIVIDUEL	CUMULATIF	CUMULATIF	CUMULATIF	CUMULATIF REPORTÉ
Récepteur no. : _____	3" (75)						
Sol + tare = _____ g	2" (50)						
Tare = _____ g	1 1/2" (37,5)						
Sol sec = _____ g	1 (25)						
SÉCHAGE	3/4" (19)	1/2" (13)					
<input type="checkbox"/> Air <input type="checkbox"/> Four	3/8" (9,5)		10.85				
Remarques _____	# 4 (4,75)		7.00				
	RÉSIDU		2.30				
						PERTES	
						Poids = <u>0.86 g</u> ; % = <u>0.86</u>	

RAYEZ LES TAMIS NON UTILISÉS

POIDS DE LA FRACTION UTILISÉE	TAMIS		POIDS DU SOL RETENU		% RETENU	% DU SOL PASSANT	
	Numéro (D mm)		INDIVIDUEL	CUMULATIF	CUMULATIF	CUMULATIF	CUMULATIF REPORTÉ
Récepteur no. : _____	# 4 (4,75)						
Sol + tare = _____ g	# 8 (2,36)	# 100 (0,15)	14.59	79.59	79.59	20.41	
Tare = _____ g	# 16 (1,18)	# 20 (0,85)	4.95	4.95	4.95	95.05	
Sol sec = <u>100.00 g</u>	# 30 (0,60)	# 40 (0,42)	23.72	34.67	34.67	65.33	
SÉCHAGE	# 50 (0,30)	# 60 (0,25)	30.33	65.00	65.00	35.00	
<input checked="" type="checkbox"/> Air <input type="checkbox"/> Four	# 100 (0,15)	# 140 (0,106)	10.25	89.84	89.84	10.16	
TAMISAGE	# 200 (0,075)		7.00	96.84	96.84	3.16	
<input type="checkbox"/> à sec <input type="checkbox"/> lavage	RÉSIDU		2.30				
SÉDIMENTOMÉTRIE							
<input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non							
						PERTES	
						Poids = <u>0.86 g</u> ; % = <u>0.86</u>	

REMARQUES (couleur sec-humide, forme des grains, matières organiques, w% nat., etc.)

DESCRIPTION NORMALISÉE : _____



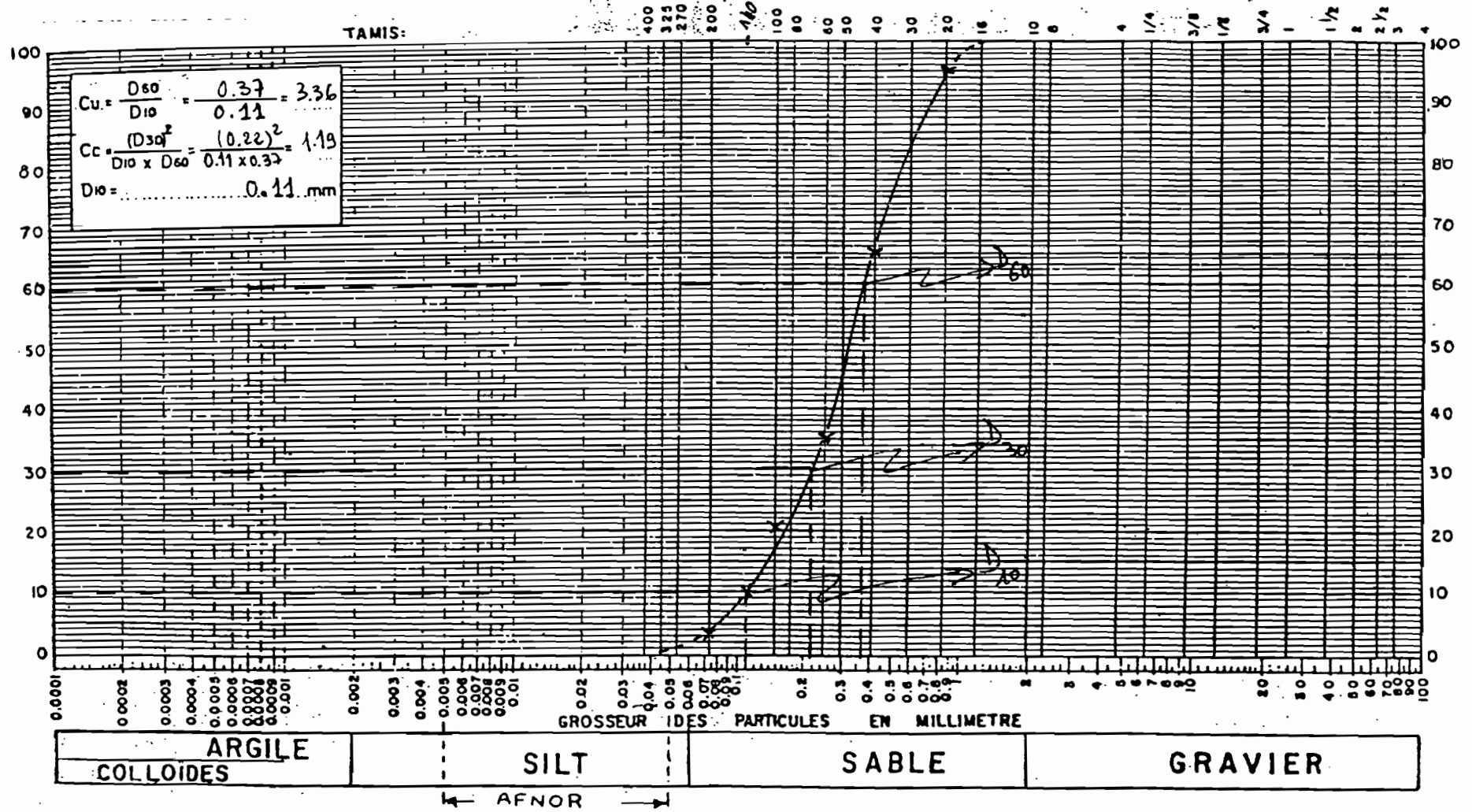
école polytechnique de thiès

Boite Postale 10, Thiès, République du Sénégal

DATE 9-1-1985

ECHANTILLON NO. 8

COURBE GRANULOMETRIQUE



Description : Matériau très fin.

Remarques :

école polytechnique de thïès

LABORATOIRE DE GEOTECHNIQUE ANALYSE GRANULOMETRIQUE

ASTM
D 422

IDENTIFICATION 9

Echantillon prélevé à DIAMINAR KEUR KANE Manipulateur _____

Mohamed M. Diop Calculé _____ Date 9-1-1985

POIDS TOTAL DE L'ÉCHANTILLON REÇU AU LABORATOIRE & W% NATURELLE

Réceptient no.: _____ Sol humide + tare = _____ g ; Sol sec + tare = _____ g

Poids de l'eau = _____ g ; Tare = _____ g ; Poids sol sec = _____ g ; W% = _____

% de particules plus grandes que 150 mm (6 po.) = _____

POIDS DE LA FRACTION UTILISÉE (si différente du poids total)	TAMIS		POIDS DU SOL RETENU		% RETENU	% DU SOL PASSANT		
	pouces (mm)		INDIVIDUEL	CUMULATIF	CUMULATIF	CUMULATIF	CUMULATIF REPORTÉ	
Réceptient no.: _____ Sol + tare = _____ g Tare = _____ g Sol sec = _____ g SÉCHAGE <input type="checkbox"/> Air <input type="checkbox"/> Four Remarques _____	3"	(75)						
	2"	(50)						
	1 1/2"	(37,5)						
	1	(25)						
	3/4"	(19) 1/2" (13)						
	3/8"	(9,5)						
	# 4	(4,75)						
	RÉSIDU							
	PERTES							
	POIDS = _____ g ; % = _____							

RAYEZ LES TAMIS NON UTILISÉS

POIDS DE LA FRACTION UTILISÉE	TAMIS		POIDS DU SOL RETENU		% RETENU	% DU SOL PASSANT	
	Numéro (D mm)		INDIVIDUEL	CUMULATIF	CUMULATIF	CUMULATIF	CUMULATIF REPORTÉ
Réceptient no.: _____ Sol + tare = _____ g Tare = _____ g Sol sec = <u>93,58</u> g SÉCHAGE <input checked="" type="checkbox"/> Air <input type="checkbox"/> Four TAMISAGE <input checked="" type="checkbox"/> à sec <input type="checkbox"/> lavage SÉDIMENTOMÉTRIE <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non	# 4	(4,75)					
	# 8	# 100	28,91	57,64	61,59	37,09	
	# 16	# 20	0,00	0	0	100	
	# 30	# 40	2,85	2,85	3,04	96,89	
	# 50	# 60	25,88	28,73	30,70	68,64	
	# 100	# 140	13,64	71,28	76,17	22,12	
	# 200	(0,075)	11,50	82,78	88,46	9,65	
	RÉSIDU		8,84				
PERTES							
Poids = <u>1,96</u> g ; % = <u>2</u>							

REMARQUES (couleur sec-humide, forme des grains, matières organiques, w% nat., etc.)

DESCRIPTION NORMALISÉE :



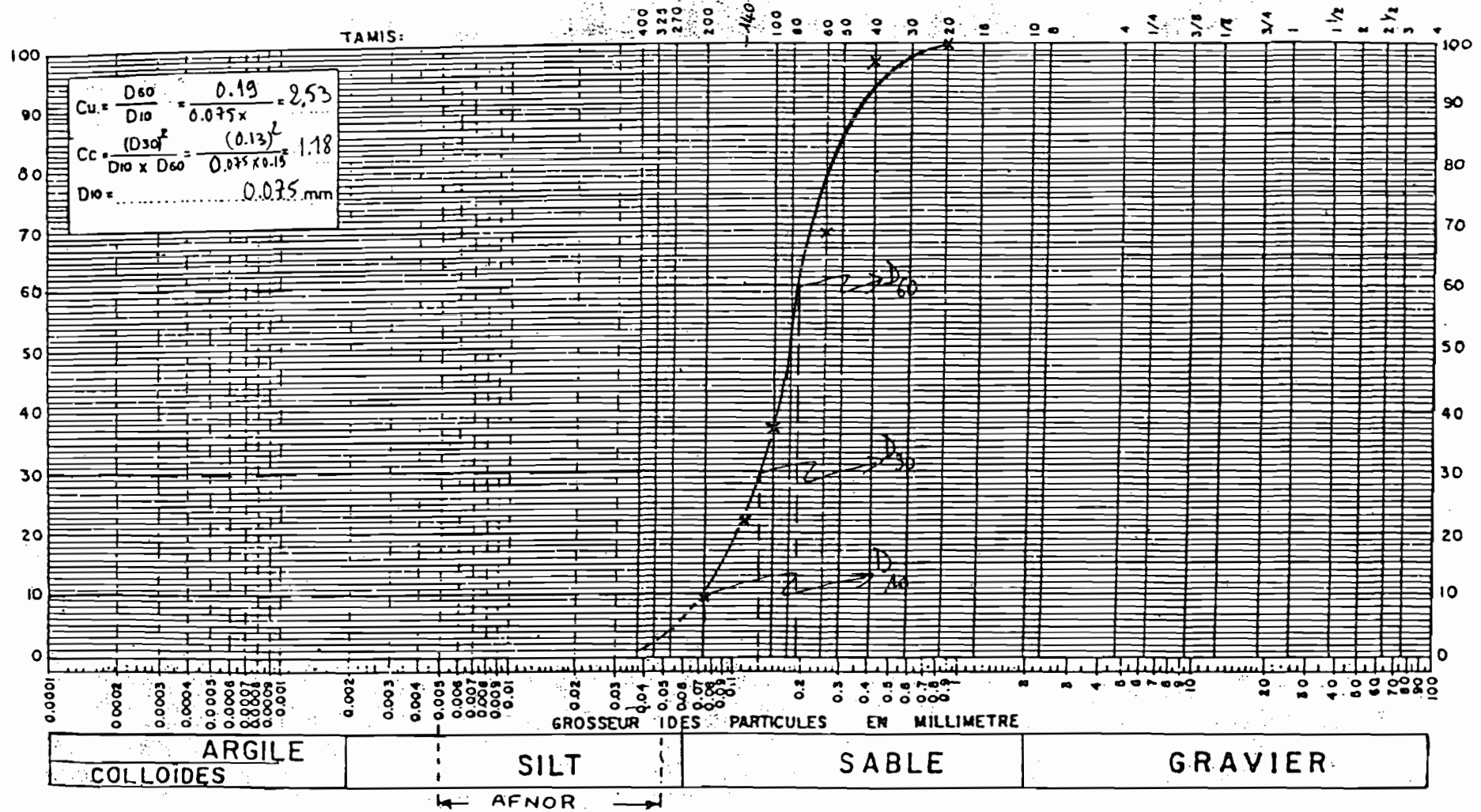
École Polytechnique de Thiès

Boîte Postale 10, Thiès, République du Sénégal

DATE 9-1-1985

ECHANTILLON NO. 9

COURBE GRANULOMETRIQUE



Description : Matériau trop fin -

Remarques : est à tamiser avant utilisation.

école polytechnique de thiers

LABORATOIRE DE GEOTECHNIQUE		ASTM D 422
ANALYSE GRANULOMETRIQUE		
IDENTIFICATION <u>10</u>		
Echantillon prélevé à <u>LOYENE</u>		Manipulateur _____
<u>Mohamed M. Diop</u> Calculé _____		Date <u>16-1-1985</u>

POIDS TOTAL DE L'ÉCHANTILLON REÇU AU LABORATOIRE & W% NATURELLE

Récepteur no.: _____ Sol humide + tare = _____ g ; Sol sec + tare = _____ g
 Poids de l'eau = _____ g ; Tare = _____ g ; Poids sol sec = _____ g ; W% = _____
 % de particules plus grandes que 150 mm (6 po.) = _____

POIDS DE LA FRACTION UTILISÉE (si différente du poids total)	TAMIS pouces (mm)		POIDS DU SOL RETENU		% RETENU	% DU SOL PASSANT	
	INDIVIDUEL	CUMULATIF	INDIVIDUEL	CUMULATIF	CUMULATIF	CUMULATIF	CUMULATIF REPORTÉ
Récepteur no.: _____	3" (75)						
Sol + tare = _____ g	2" (50)						
Tare = _____ g	1 1/2" (37,5)						
Sol sec = _____ g	1 (25)						
SÉCHAGE	3/4" (19) 1/2" (13)						
<input type="checkbox"/> Air <input type="checkbox"/> Four	3/8" (9,5)						
Remarques _____	# 4 (4,75)						
	RÉSIDU					PERTES	
						Poids = _____ g ; % = _____	

RAYEZ LES TAMIS NON UTILISÉS

POIDS DE LA FRACTION UTILISÉE	TAMIS Numéro (D mm)		POIDS DU SOL RETENU		% RETENU	% DU SOL PASSANT	
	INDIVIDUEL	CUMULATIF	INDIVIDUEL	CUMULATIF	CUMULATIF	CUMULATIF	CUMULATIF REPORTÉ
Récepteur no.: _____	# 4 (4,75)						
Sol + tare = _____ g	# 8 (2,36)	# 100 (0,15)	31.92	67.10	54.97	45.03	
Tare = _____ g	# 16 (1,18)	# 20 (0,85)	0	0	0	100	
Sol sec = <u>123.66</u> g	# 30 (0,60)	# 40 (0,42)	6.64	6.64	5.44	94.56	
SÉCHAGE	# 50 (0,30)	# 60 (0,25)	21.54	35.18	28.42	71.18	
<input checked="" type="checkbox"/> Air <input type="checkbox"/> Four	# 100 (0,15)	# 140 (0,106)	19.95	87.05	71.31	28.68	
TAMISAGE	# 200 (0,075)		21.80	108.85	89.17	10.82	
<input checked="" type="checkbox"/> à sec <input type="checkbox"/> lavage	RÉSIDU		13.21				
SÉDIMENTOMÉTRIE							
<input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non							
						PERTES	
						Poids = <u>1.6</u> g ; % = <u>1.3</u>	

M.B. Avril 1985

REMARQUES (couleur sec-humide, forme des grains, matières organiques, W% nat., etc.)

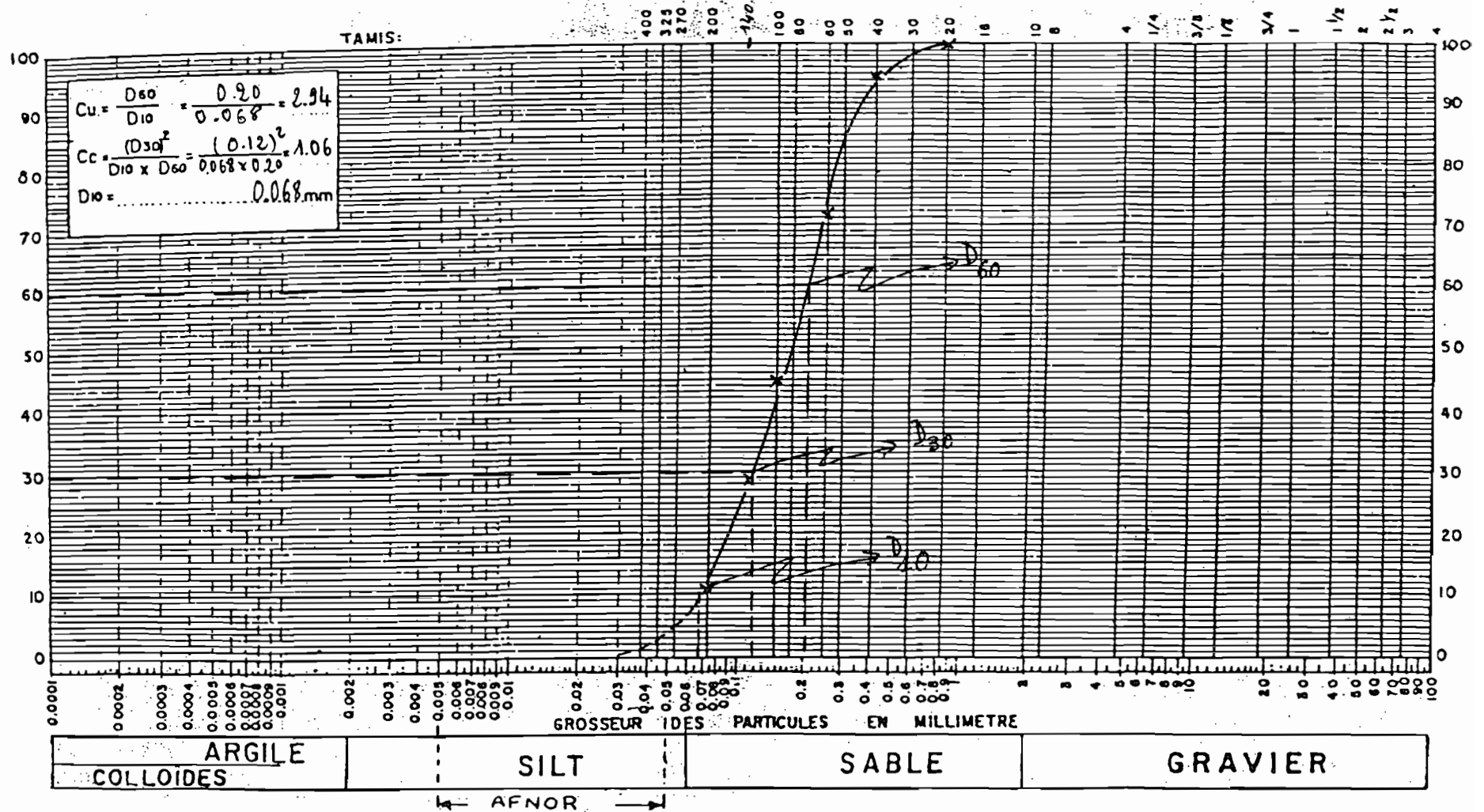
DESCRIPTION NORMALISÉE : Sable silteux (doit être tamisé avant utilisation)



DATE 16-1-1985

ECHANTILLON NO. 10

COURBE GRANULOMETRIQUE



Description : matériau trop fin
 Remarques : il doit être tamisé avant utilisation

ANNEXES III : RESULTATS DES EXPERIENCES HYDRAULIQUES.
=====

FEUILLE DE MESURES

ECHANTILLON N° 1 : KEUR MOMAR SARR

Hauteur de sable (cm)	débits de sortie (ml/s)	Turbidité (Jacksons)	Résidu sec (g/l)
3	6.16	16.0	0.72
6	6.10	13.0	0.62
9	6.00	9.0	0.58
12	5.58	6.0	0.30
15	5.57	3.5	0.26

ECHANTILLON N° 2 : F E T O

Hauteur de sable (cm)	débits de sortie (ml/s)	Turbidité (partie par million Si 02)	Résidu sec (g/l)
3	2.5	17.5	1.75
6	1.94	9.0	1.16
9	1.62	7.0	0.77
12	1.49	5.5	0.32
15	1.34	3.5	0.28

FEUILLE DE MESURES

ECHANTILLON N° 3 : KEUR AYA

Hauteur de sable (cm)	Débits de sortie (ml/s)	Turbidité (parties par m Si O ₂)	Résidu sec (g/l)
3	7.27	14.0	0.77
6	6.75	11.5	0.68
9	6.52	8.0	0.41
12	6.28	5.0	0.31
15	6.04	4.0	0.30

ECHANTILLON N° 4 : GANKETTE GUENTT

Hauteur de sable (cm)	Débits de sortie (ml/s)	Turbidité (parties par m Si O ₂)	Résidu sec (g/l)
3	5.59	14.0	0.63
6	5.54	12.0	0.42
9	5.49	9.0	0.34
12	5.45	7.0	0.33
15	5.40	5.5	0.31

FEUILLE DE MESURES

ECHANTILLON N° 5 : GANLETTE BALA 2

Hauteur de sable (cm)	Débits de sortie (ml/s)	Turbidité	Résidu sec
3	7.69	15.0	1.08
6	7.14	7.5	0.85
9	5.71	4.0	0.52
12	5.35	3.5	0.34
15	4.54	3.2	0.25

II
II I B L I O G R A P H I E

- 1°) DEGREMONT, GILBERT : MEMENTO TECHNIQUE DE L'EAU.
Degremont, 1972 ; Jacques Béchaux.
- 2°) HARRY R. : SEAPAGE, DRAINAGE AND FLOWNETS.
Cedergreen, 2nd edition, 1978.
- 3°) COX, CHARLES R. : TECHNIQUES ET CONTRÔLE DU TRAITEMENT DES EAUX.
Organisation Mondiale de la Santé, Genève, 1967.
- 4°) DJUKANOVIC, V. : COMMENT REpondre AUX BESOINS SANITAIRES
FONDAMENTAUX DES POPULATIONS DANS LES PAYS EN VOIE DE DEVELOPPEMENT.
Organisation Mondiale de la Santé, Genève, 1975, étude commune
FISE / OMS.
- 5°) HUISMAN : SLOW SAND FILTRATION.
Genève, World Health Organisation, 1974.
- 6°) ANDREI, SILVAN : LE DRAINAGE DE L'EAU DANS LES SOLS A
GRANULOMETRIE FINE.
Paris, Association Française de Recherches et d'essais sur les
matériaux et les constructions, 1966.
- 7°) J. R. VAILLANT : LA GESTION D'UN SERVICE DES EAUX.
Paris, Bureau Central d'études pour les équipements d'Outre-Mer,
Décembre 1969.
- 8°) APPROVISIONNEMENT EN EAU DANS LES REGIONS RURALES DES PAYS EN VOIE
DE DEVELOPPEMENT.
Compte rendu du Colloque à ZOMBA (MALAWI) du 5 au 12 Août 1980 - C.R.D.I.
- 9°) L'EAU AU SENEGAL : UN BIEN INDISPENSABLE A PROTEGER ET A AMENAGER.
Colloque tenu à l'E.P.T. le 21 Mai 1980.
- 10°) L'EAU POTABLE POUR TOUS - Jacques Debouvérie -
AFRIQUE EXPANSION Numéro 5, Septembre-Octobre 1984, pages 64, 65.
- 11°) C. TOURE : TRAITEMENT DES EAUX POUR LA CONSOMMATION.
Notes de cours, 1984-1985, E.P.F.L. , pages 5 et 6.