



7 1

F E 8 6

**COLLOQUE INTERNATIONAL**  
***Sessions de perfectionnement technique***

**EAU - FORMATION - DEVELOPPEMENT**  
ABIDJAN - 2-15 FEVRIER 1986

organisés sous le Haut Patronage de  
Son Excellence Monsieur Félix HOUPHOUET BOIGNY  
Président de la République de Côte d'Ivoire

**ANNEXE TECHNIQUE :**  
**TEXTES DES CONFERENCES DES SESSIONS**  
**DE PERFECTIONNEMENT TECHNIQUE**

71FE86-2297A



**fondation de l'eau**

bn 2297

71 FEB 86

**COLLOQUE INTERNATIONAL**  
***Sessions de perfectionnement technique***

---

**EAU - FORMATION - DEVELOPPEMENT**

ABIDJAN - 2-15 FEVRIER 1986

---

organisés sous le Haut Patronage de  
Son Excellence Monsieur Félix HOUPHOUET BOIGNY  
Président de la République de Côte d'Ivoire

bn 2297  
71 FEB 86

**ANNEXE TECHNIQUE :**

**TEXTES DES CONFERENCES DES SESSIONS**

**DE PERFECTIONNEMENT TECHNIQUE**

CE DOCUMENT EST L'ANNEXE TECHNIQUE DU RAPPORT RELATIF

au COLLOQUE INTERNATIONAL

Session de Perfectionnement Technique

EAU - FORMATION - DEVELOPPEMENT

ABIDJAN - 2-15 FEVRIER 1986

DONT LES COMPTES RENDUS, CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS ONT  
DEJA ETE PUBLIES.

IL COMPREND LES TEXTES DES CONFERENCES PRONONCEES PAR LES  
DIVERS INTERVENANTS ET EXPERTS.

Il est entendu que le contenu de ces conférences n'engage que la  
responsabilité de leurs auteurs.

# S O M M A I R E

\* \* \*

## THEME GENERAL I

Alimentation en Eau Potable - Zones Urbaines - 4 février 1986

- . Monsieur OMBANDA - SEEG
- . Monsieur MOUCHET - DEGREMONT
- . Monsieur CAHEN - ELF ATOCHEM
- . Monsieur ATIVON - CIEH

## THEME GENERAL II

Alimentation en Eau Potable - Zones Rurales - 5 février 1986

- . Monsieur SECK - SONEES
- . Monsieur ADIAFI - SODECI
- . Monsieur MOUIRI - SEEG

## SESSION SPECIALE

Gestion Technique des Services d'Alimentation en Eau Potable -  
5 février 1986

- . Monsieur BORDES - CIEH

## THEME GENERAL III

Entretien des Equipements Electromécaniques 6 février 1986

- . Monsieur SERI - SODECI
- . Monsieur ATIVON - CIEH
- . Monsieur BERTHIER - FONDATION DE L'EAU
- . Monsieur PRADEAU - FONDATION DE L'EAU

## THEME GENERAL IV

Réseaux Eau Potable - 7 février 1986

- . Monsieur BLOT - TROUVAY & CAUVIN
- . Monsieur ROSIO - FONDATION DE L'EAU

## THEME GENERAL V

Assainissement - 10 février 1986

- . Monsieur KOFFI - SODECI
- . Melle JAUBERT - FONDATION DE L'EAU
- . Monsieur TOUBLANC - DIRECTION DE L'EAU



**COLLOQUE INTERNATIONAL**  
*Sessions de perfectionnement technique*

---

**EAU - FORMATION - DEVELOPPEMENT**

ABIDJAN - 2-15 FEVRIER 1986

---

**THEME GENERAL I**

**Alimentation en Eau Potable  
Zones Urbaines**

**4 février 1986**

Conférence présentée par Monsieur OMBANDA, SEEG

\* \* \* \*

Choix des paramètres techniques et économiques  
à considérer pour la production et la distribution  
d'eau potable dans les pays d'Afrique

## INTRODUCTION

. La démarche du choix des paramètres techniques et économiques à prendre en considération pour la production et la distribution d'eau potable est relativement classique. Ces paramètres sont bien recensés.

. En Afrique, la prise en considération de l'ensemble de ces paramètres présente quelques difficultés pour les raisons suivantes, principalement :

- l'Afrique regroupe un ensemble de pays en développement ; de ce fait elle est tributaire des pays industrialisés des :
  - . technologies et des techniques,
  - . du savoir-faire ;
- l'Afrique comporte un ensemble de pays pauvres (PNB annuel inférieur à 1000 Dollars par tête pour 85 % d'entre eux), de ce fait, elle est soumise aux exigences et contraintes des organismes ou pays qui apportent des capitaux ;
- le capital humain de l'Afrique demeure à l'état de potentiel et de ce fait, l'usage de techniques importées, de plus en plus sophistiquées est tributaire d'une main-d'oeuvre importée, fort onéreuse.

### 1 - EVALUATION DES BESOINS DE CONSOMMATION

. Disponibilités de statistiques d'exploitation en général faibles et peu fiables.

. Au niveau des prévisions, peu ou pas de données en provenance des Pouvoirs Publics, chargés de la politique d'aménagement du territoire (démographie, typologie de la population, plans d'urbanisation, implantation d'unités industrielles...).

. Mise en oeuvre de schémas directeurs (à moyen ou long terme) pour l'alimentation en eau : problème de la qualification des personnels d'études.

## 2 - RESSOURCES EN EAU

. Inégalement réparties sur le continent (zone équatoriale et zone sahélienne).

. Difficultés de connaissances de base sur le pays : pluviométrie, géologie, hydrogéologie, circonstances aggravantes.

. Détermination de la quantité (capacité des nappes, jaugeages des cours d'eau, connaissance des bassins versants, interférences eaux souterraines/eaux de surface...).

. En face de plusieurs solutions, choix en fonction de critères technico-économiques (investissement et fonctionnement) et de facilité d'exploitation.

. Problème de qualification des personnels pour mise en oeuvre de schémas directeurs de mobilisation de ressources : d'où sous-traitance.

## 3 - OUVRAGES DE PRODUCTION ET DE TRANSPORT

. Dimensionnement des ouvrages (quantités à fournir) : aspect modulable des installations (problème des investissements).

. Choix des technologies et techniques (simplicité, maintenance ultérieure).

. Choix des matériaux et matériels : disponibilité dans le pays (préfabrication, ciment, sable, gravats), maintenance ultérieure, origine des financements.

## 4 - OUVRAGES DE DISTRIBUTION

. Plan d'urbanisation des grandes villes : voies de desserte pour les réseaux de distribution, terrains pour les stockages.

. Nature des matériaux (pour mémoire).

## 5 - EXPLOITATION DES OUVRAGES

. Contrôle de la production : qualité (laboratoire), quantité (comptages), surveillance des procédés.

. Entretien et maintenance des installations et des équipements.

. Formation et perfectionnement des personnels de conduite.

## 6 - VENTE DE L'EAU

. Raccordements individuels : technologies, traversées de chaussées, prix du branchement.

. Bornes-fontaines : implantation, maintien, suppression, entretien et prise en charge de l'eau.

. Prix de l'eau : vérité des prix (gaspillages), problèmes de recouvrement.

. Rendement de réseau : repérage des abonnés, facturation, fraudes, fuites...

## 7 - FINANCEMENT DES PROJETS

. Estimation des coûts, appels d'offres, passation des marchés et suivi des travaux.

. Recours aux concours extérieurs : règles d'appels d'offres, contraintes et restrictions diverses (origine des fournisseurs...).

. Problèmes de financement de la part locale (autofinancement, droits et taxes) et difficultés de trésorerie (problèmes de recouvrement des créances).

## 8 - FORMATION

. Nécessité de personnel d'études et de suivi de projets (ingénieurs et techniciens).

. Nécessité de personnels qualifiés pour la conduite et la maintenance des ouvrages.

. Pluridisciplinarité des techniques à maîtriser (études économiques, statistiques, prévisions, techniques : hydraulique, génie-civil, travaux publics, électrotechnique, électromécanique...).

. Problème crucial de la "mentalité": maintenance et entretien à acquérir dans un pays en développement.

. Etablissements de formation locaux et, surtout, nombre de candidats à ces formations.



Conférence présentée par Monsieur MOUCHET, DEGREMONT

\* \* \* \*

Traitement des eaux potables dans les pays tropicaux :  
Expériences récentes, exemples de développements technologiques

Un traiteur d'eau qui travaille à l'échelle mondiale doit apprendre à bien connaître les problèmes inhérents à chaque type de climat, à chaque pays. Comme beaucoup d'autres domaines, celui du traitement de l'eau est en évolution permanente et la technique doit s'adapter à la croissance des pollutions, aux normes de potabilité en vigueur, aux améliorations des méthodes modernes d'analyse, à la création de nouveaux produits de synthèse, à la raréfaction des ressources imposant de traiter des eaux jusque là inutilisées du fait de leurs caractéristiques défavorables, à la qualification de la main-d'oeuvre (elle-même fonction, entre autres, de la taille des installations), à l'éternelle recherche du compromis entre les considérations économiques et la Santé Publique, etc.

Dans ce qui suit, on trouvera un certain nombre d'exemples récents de ces principes, pris dans des pays tropicaux : bien entendu, ils ne sont pas exhaustifs, mais ils ont été choisis de façon à faire ressortir la diversité des problèmes qui se posent. Ils seront en général relatifs aux eaux superficielles (rivières, lacs, eaux de retenue), mais le traitement des eaux souterraines sera également évoqué.

Les thèmes traités seront regroupés en 2 chapitres :

- Problèmes de traitement posés par la qualité des eaux brutes : fortes turbidités, eutrophisation des retenues (contre laquelle des mesures préventives seront évoquées) qui entraîne en particulier l'obligation de traiter des eaux très riches en algues, présence naturelle de substances toxiques comme l'arsenic ou le fluor, corrosivité des eaux, etc. Un grand nombre de ces problèmes provient du fait qu'en climat tropical, il existe des différences extrêmement accusées entre saison sèche et saison des pluies, des zones désertiques et d'autres à végétation luxuriante, des températures élevées favorisant les phénomènes vitaux (développements de bactéries, algues ou animaux), etc. On y trouve aussi parfois des eaux à minéralisations excessivement basses ou au contraire élevées, pour des raisons géologiques ou pédologiques.
- Problèmes de technologie inhérents à la taille des installations, à la place disponible, à la recherche d'une meilleure efficacité, à l'origine et à la variabilité des eaux, au mode d'exploitation, et tout ceci en fonction des problèmes de traitement évoqués plus haut, de l'état actuel de la technique et même des "modes" en vigueur. Ces problèmes seront examinés au niveau de la décantation, de la filtration et de l'ozonation.

CHAPITRE I. EXEMPLES DE PROBLEMES DE TRAITEMENT INHERENTS A LA QUALITE DES EAUX BRUTES.

1. Fortes turbidités

1.1.- Généralités

Il faut d'abord faire quelques remarques sur la caractérisation des eaux brutes dans ce domaine :

- Turbidité et/ou matières en suspension (MeS) ? Il est malheureusement rare de trouver simultanément ces 2 indications dans des analyses servant de base à un projet ou à l'expertise d'une installation existante ; il faut tout de suite préciser que les deux indications seraient en principe toujours nécessaires, car jamais 2 eaux différentes ne présentent le même rapport entre turbidité et MeS ; de plus, en un lieu donné, ce rapport change encore dans l'eau brute en fonction de la période de l'année, et en fonction du stade de traitement si on suit son évolution à un moment donné à travers une installation. Mais de ces deux analyses, laquelle est la plus significative? En général, on peut dire que dans une eau très peu chargée, c'est la turbidité, alors qu'une eau très chargée impose avant tout la connaissance des MeS, car une mesure de turbidité perd sa signification (erreurs de mesure, non-représentativité de la charge pondérale réelle) au-delà d'un certain maximum. Entre ces 2 extrêmes, il faut disposer de ces 2 analyses simultanément pour toutes les eaux, dans toute la mesure du possible.
- Granulométrie des MeS : de plus, il faudrait déterminer dans chaque cas également la courbe granulométrique des MeS, car 100 g/m<sup>3</sup> de sable fin demandent moins de coagulant et décantent beaucoup plus rapidement que 30 g/m<sup>3</sup> d'argile colloïdale. Suivant la taille des MeS, une charge pondérale de 4 g/l, par exemple, peut être éliminée soit par un décanteur statique seul, soit par un dessableur ou un débourbeur suivi d'un décanteur accéléré.
- Variabilité des MeS : il faut aussi connaître les extrêmes (mini et maxi) des MeS au cours de l'année, et surtout être sûr que l'on a bien estimé la charge maximale que l'eau brute peut présenter afin que l'installation soit conçue en conséquence : il faut donc des campagnes analytiques couvrant des cycles annuels.
- Traitabilité des MeS : il faut enfin avoir testé leur aptitude à la floculation et à la décantation (sans oublier la concentration des boues obtenues après sédimentation, ce qui conditionne les pertes d'eau à ce stade du traitement).

Le large éventail de résultats que l'on obtient sur les points ci-dessus, lorsque l'on examine l'ensemble des eaux superficielles du Globe, montre qu'on ne peut pas édicter de règle précise sur le mode de traitement des eaux en fonction de leur charge insoluble (d'autant plus qu'il peut s'ajouter d'autres paramètres également fondamentaux pour le choix du traitement, comme la couleur, les algues, etc.). Aussi ne peut-on donner que des ordres de grandeur sur les différents modes d'élimination de cette charge (exprimée ici en poids de MeS) :

...

- moins de 20-40 mg/l : filtration directe avec simple coagulation-floculation en amont (à condition en outre que la demande en coagulant ne dépasse pas 15 à 20 g/m<sup>3</sup>) ;
- de 20-40 mg/l à 1,5-3 g/l : décanteur accéléré à contact de boues (ex. : Pulsator, Accelator), ou décanteur lamellaire (ex. : Sedipac), ou combinaison des 2 procédés (ex. : Superpulsator) ; exemple d'application sur l'eau d'une rivière au MOZAMBIQUE, traitée en Pulsator (chaux + sulfate d'alumine + silice activée) :
  - MeS dans l'eau brute : 1 g/l
  - MeS dans le lit de boues : 2,5 g/l
  - MeS dans l'eau décantée : 2 à 5 mg/l
  - MeS dans l'eau filtrée : 0,3 mg/l
  - Boues de décantation :
    - MeS = 20 g/l
    - taux d'extraction : 5%
- de 1,5-3 g/l à 5 g/l : suivant le cas, décanteur statique raclé en un seul stade, ou dessableur suivi d'un décanteur statique ou à contact de boues ;
- plus de 5 g/l : ce sera en général le domaine de la décantation en 2 stades, comprenant un prédécanteur-débourbeur suivi d'un décanteur statique ou à contact de boues ; mais ce domaine comporte lui aussi une limite supérieure de teneur en MeS, au-dessus de laquelle la demande en réactifs devient prohibitive et le volume des boues formées trop important pour qu'on puisse l'extraire et pour qu'on puisse obtenir un débit suffisant d'eau claire : dans le § 1.2, nous verrons qu'en général, il s'avère très difficile de faire fonctionner une installation lorsque les MeS dans l'eau brute dépassent 40 à 50 g/l (alors que certaines eaux peuvent présenter des teneurs en MeS de près de 200 g/l) ; encore faut-il dans ce cas avoir estimé exactement le débit de boues à extraire et avoir déterminé en conséquence le débit d'eau brute nécessaire pour obtenir un certain débit d'eau traitée : en effet, la concentration des boues obtenues à partir de ces eaux très chargées varie de moins de 100 g/l à plus de 400 g/l, suivant la nature des MeS et le traitement appliqué.

1.2.- Examen particulier des eaux très chargées en MeS

Le dernier type de décantation que nous venons de citer (en 2 stades, pour les eaux dont la teneur en MeS est supérieure à 5 g/l) est intéressant sur le plan du traitement proprement dit car il peut donner lieu à la technique dite de la double coagulation, applicable d'ailleurs également à des eaux moins chargées (à partir de 2 g/l environ).

Depuis de nombreuses années, en effet, nous avons remarqué que sur de nombreuses eaux, une décantation en 2 stades permettait de réaliser une économie substantielle de coagulant, la dose totale de réactif pouvant alors s'abaisser jusqu'à 50-60% de la dose introduite dans un décanteur unique, du moins dans certains cas exceptionnels. Néanmoins, ce procédé ne serait pas rentable sur une eau peu chargée, car il devient alors difficile de compenser le supplément d'investissement que représente un second décanteur ; il a cependant été envisagé sur des eaux à teneur en MeS modérée; mais présentant une pollution minérale (métaux lourds) et organique, simultanément : une première décantation à pH alcalin (si possible en présence de FeCl<sub>3</sub>) élimine les métaux lourds, une seconde décantation à pH acide élimine les matières organiques ; la double décantation est également pratiquée dans certains cas difficiles d'adoucissement à la chaux : un 1er décanteur fonctionne en clarification pour éliminer les substances inhibitrices de la décarbonatation, celle-ci ayant lieu dans un 2nd stade de décantation.

- 0 -

Mais c'est surtout sur les eaux très turbides que ce procédé prend tout son intérêt : ce sera en particulier le cas dans les pays tropicaux où une longue saison sèche est brusquement suivie de violentes tornades et où, simultanément, les forêts sont absentes ou clairsemées (exemples en Amérique latine, en Afrique, au Moyen-Orient, etc.) ; il en résulte que les fortes turbidités sont en même temps très variables, ce qui ajoute une difficulté supplémentaire à l'exploitation.

La double décantation de telles eaux doit en fait être pratiquée suivant des modalités adaptées à chaque cas, en fonction de la nature et des valeurs maximales prévisibles des MeS.

Si les MeS sont en majeure partie des grains de sable, de carbonate ou d'argile d'une taille suffisante pour permettre leur sédimentation naturelle (par exemple de l'ordre de 50  $\mu$ , ou davantage) et que la fraction colloïdale est relativement faible, le traitement chimique peut ne concerner que la décantation principale et, en ce qui concerne les réactifs, le débourbeur fonctionnera comme un dessableur. Dans tous les autres cas, il y aura intérêt à pratiquer la double coagulation.

Celle-ci peut n'être qu'un simple partage de la dose de coagulant entre la prédécantation et la décantation principale ; la proportion de sel de fer ou d'aluminium à introduire en prédécantation est variable, car elle dépend de la proportion de matières colloïdales dans les MeS totales : elle est en général comprise entre 30 et 60% de la dose optimale déterminée par le jar-test. En répétant l'expérience du jar-test sur l'eau prédécantée, on s'apercevra souvent que la somme des 2 taux de traitement appliqués respectivement à chacun des 2 stades de décantation est inférieure à la dose à appliquer dans une décantation unique ; un exemple en est donné dans le tableau n°1 : sur l'eau de la rivière KADUNA (Nigéria), avec une teneur en MeS de 2 g/l dans l'eau brute, il faut 60 g/m<sup>3</sup> de sulfate d'alumine dans un traitement en 1 stade et 50 g/m<sup>3</sup> en tout dans un traitement en 2 stades ; ce dernier permet donc dans ce cas une économie de coagulant minéral de plus de 15%.

Ce phénomène peut s'expliquer par un meilleur rendement d'adsorption des impuretés sur le floc d'alumine dans le cas d'un sous-dosage en prétraitement. La répartition de la dose de coagulant minéral présente donc des avantages, mais on s'aperçoit rapidement qu'elle comporte des limitations lorsqu'on doit traiter des eaux à turbidité très variable : dans de tels cas la rapidité de l'augmentation des MeS et la demande énorme de coagulant minéral qui apparaît généralement au jar-test imposent la recherche d'une autre solution ; celle-ci peut être fournie par les polyélectrolytes.

Lorsque les MeS sont très colloïdales et ne dépassent pas des maxima de l'ordre de 5 g/l, ce sont les produits cationiques qui donnent en général les meilleurs résultats. Nous avons déjà constaté que dans certains cas de décantation en un seul stade, leur double rôle de coagulant et de flocculant leur permettait de diminuer la dose de sulfate d'alumine en eaux peu chargées et de remplacer complètement ce réactif en eaux chargées. Ainsi, au cours d'essais en Pulsator-pilote effectués à MANILLE, des résultats identiques avaient été obtenus avec les différents traitements suivants :

...

## - TABLEAU n° 1 -

Exemple de double coagulation.

(jar-test)

KADUNA River, Nigeria

Eau brute : Matières en suspension : 2 000 mg/l  
 Turbidité : 850 NTU  
 pH : 7,25

| Traitement simulé  | Décantation en 1 stade |    |     |     | Décantation en 2 stades |     |     |
|--|------------------------|----|-----|-----|-------------------------|-----|-----|
| <u>Prédécantation</u>  |                        |    |     |     |                         |     |     |
| * Dose de sulfate d'alumine  | -                      |    |     |     | 30 g/m <sup>3</sup>     |     |     |
| * Eau prédécantée :  |                        |    |     |     |                         |     |     |
| - pH   | -                      |    |     |     | 6,6                     |     |     |
| - Turbidité  | -                      |    |     |     | 85 NTU                  |     |     |
| <u>Décantation principale:</u>   |                        |    |     |     |                         |     |     |
| * Dose de sulfate d'alumine (g/m <sup>3</sup> )                        | 40                     | 50 | 60  | 70  | 10                      | 20  | 30  |
| * Turbidité(NTU)   | 12                     | 7  | 3,8 | 3,5 | 7,2                     | 3,9 | 3,5 |
| Taux de traitement en sulfate d'alumine dans la décantation principale | 60 g/m <sup>3</sup>    |    |     |     | 20 g/m <sup>3</sup>     |     |     |
| Dose totale de sulfate d'alumine                                       | 60 g/m <sup>3</sup>    |    |     |     | 50 g/m <sup>3</sup>     |     |     |

NB : dans tous les béchers, le pH est réglé à la valeur optimale de 6,6 par addition de chaux.

| MeS<br>dans l'eau brute | Traitement n° 1                             |  | Traitement n° 2                             |   | Traitement<br>n°3                                       |
|-------------------------|---|--|---|---|---|
|                         | Sulfate<br>d'alumine<br>(g/m <sup>3</sup> ) | Polymère<br>anionique*<br>ou neutre<br>(g/m <sup>3</sup> ) | Sulfate<br>d'alumine<br>(g/m <sup>3</sup> ) | Polymère<br>cationique**<br>(g/m <sup>3</sup> ) | Polymère<br>cationique**<br>seul<br>(g/m <sup>3</sup> ) |
| 7 à 15 mg/l             | 25 à 30                                     | 0,02 à 0,1   | 7,5 à 10                                    | 0,4 à 0,8                                       | -   |
| 1 à 2 g/l               | 180   | 0,3  | -   | -   | 2 à 3   |

\* ASP 6 ; N 100 (produits en poudre)

\*\* Nalco 5 WP ; Superfloc 575-C ; Betz 1190 (produits liquides).

C'est pourquoi les polymères cationiques ont été appliqués dans certains cas de décantation en 2 stades. Par exemple, sur une installation de COSTA RICA, l'eau brute subissait des variations très brutales de turbidité, les MeS passant fréquemment et en très peu de temps de 50 mg/l à 5 g/l, ce qui rendait très difficile le maintien d'une bonne qualité d'eau traitée ; ce problème d'exploitation a été résolu en introduisant en permanence 1,5 g/m<sup>3</sup> d'un polymère cationique (Nalco 8103 ou Catfloc T) dans un prédécanteur fonctionnant à une vitesse de 3,5 m/h : quelle que soit la nature de l'eau brute, la qualité de l'eau prédécantée était alors sensiblement constante et la dose de sulfate d'alumine appliquée en décantation principale ne variait plus que de 30 à 40 g/m<sup>3</sup>.

Mais là encore, un tel traitement présente des limitations : pour des taux de MeS très supérieurs (10 g/l et davantage), ce n'est plus un réactif coagulant (qu'il soit minéral, comme le sulfate d'alumine, ou organique et synthétique, comme les polymères cationiques) qui convient, mais un réactif flocculant ; cela revient à dire qu'avec des eaux aussi chargées, il faut recourir à des techniques de traitement de boues : c'est un polymère anionique qui doit être appliqué, et le débourbeur doit être calculé comme un épaisseur de boues.

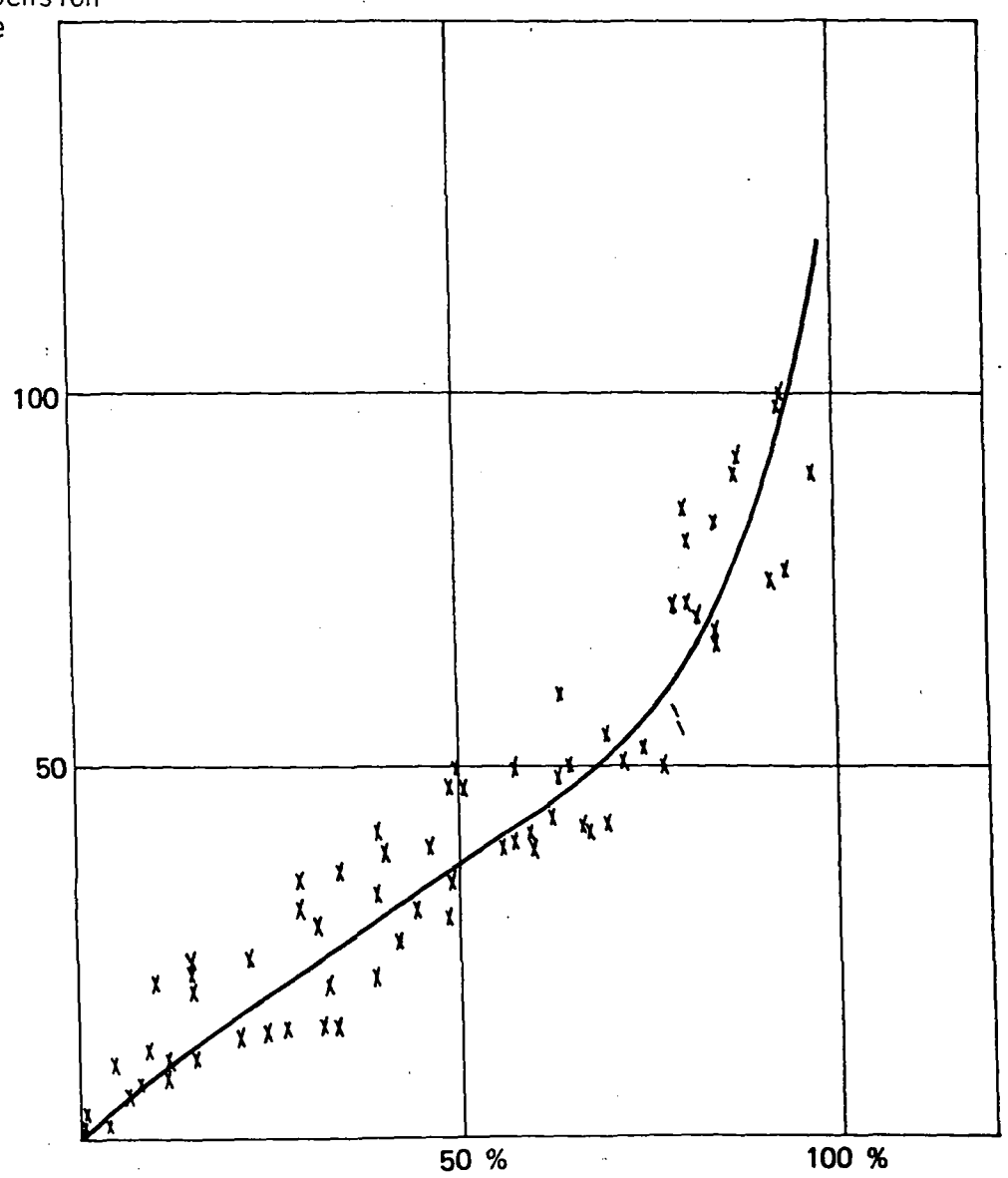
Un exemple nous en est donné par une étude effectuée sur l'eau de l'Oued CHELIFF (Algérie) : en période de crue, la teneur en MeS varie entre 10 et 120 g/l, et elle peut être estimée approximativement par le volume des boues déposées après 1h de repos (fig.1). Le débouillage a d'abord été étudié sur des eaux contenant 10 à 12 g/l de MeS, en comparant l'action d'un coagulant minéral (sulfate d'alumine) et de divers polyélectrolytes anioniques ou cationiques. Dans tous les cas, on obtenait une eau surnageante dont les MeS n'étaient plus que de l'ordre de 1 g/l (ce qui représentait donc la fraction colloïdale des MeS) et qui était facilement clarifiée par 30 à 40 g/m<sup>3</sup> de sulfate d'alumine dans la décantation principale qui suivait ; mais les performances du débouillage étaient très variables en fonction du réactif utilisé, comme on peut le voir dans le tableau suivant (où les réactifs sont appliqués à des doses optimales définies dans des tests antérieurs) :

Fig.1

OUED CHELIFF (ALGERIE)

ETUDE DE L'EAU BRUTE : RECHERCHE D'UNE CORRELATION  
ENTRE LE VOLUME DE BOUES APRES 1 HEURE DE REPOS ET LA  
TENEUR EN MATIERES EN SUSPENSION.

Matières en suspension  
dans l'eau brute  
(en g/l)



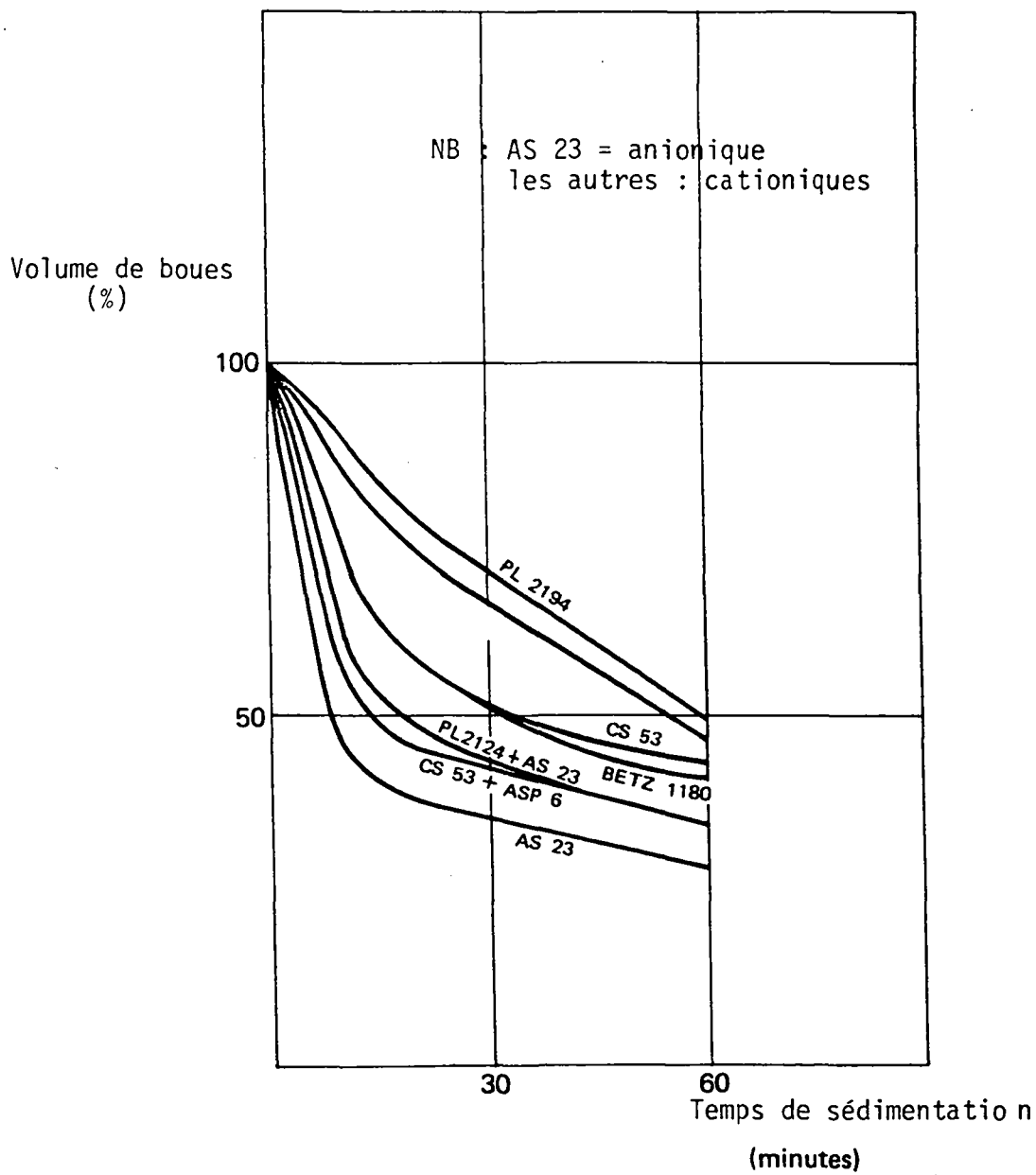
Pourcentage de boues  
après 1 h de repos.

Fig.2

OUED CHELIFF (ALGERIE)

ESSAIS DE DECANTABILITE APRES TRAITEMENT PAR DIFFERENTS POLYELECTROLYTES EN POUDRE (TAUX DE TRAITEMENT : 1 g/m<sup>3</sup> POUR CHAQUE POLYMERE).

MeS DANS L'EAU BRUTE : 40 g/l





| Essai n°   | 1  | 2   | 3   | 4   | 5   |
|--|----|-----|-----|-----|-----|
| Traitement (g/m³) :  |    |     |     |     |     |
| - Sulfate d'alumine  | 20 | 20  | -   | -   | -   |
| - Polyélectr.anioniques:   |    |     |     |     |     |
| * Prosedim ASP 6   | -  | 0,5 | 0,5 | -   | -   |
| * Prosedim AS 23   | -  | -   | -   | 0,5 | -   |
| - Polyélectr.cationique:   |    |     |     |     |     |
| * Prosedim CS 53   | -  | -   | -   | -   | 0,5 |
| Concentration des boues obtenues après 1h de sédimentation (g/l) | 70 | 110 | 130 | 170 | 80  |

Sans aucun traitement, la sédimentation naturelle de cette eau donnait, au bout d'1 heure, une boue dont la concentration était déjà de 80 à 90 g/l. On voit ainsi que dans un cas semblable, le sulfate d'alumine n'apporte aucune aide au débouage : au contraire, le floc d'Al(OH)<sub>3</sub> augmente inutilement le volume des boues formées et diminue donc leur concentration. Un polyélectrolyte cationique ne donne pas un meilleur résultat (colonne 5) : c'est un produit anionique qui doit être utilisé, après des tests comparatifs permettant de choisir le réactif le plus performant : voir par exemple la différence entre les colonnes 3 et 4 ; voir aussi sur la fig.2 le résultat d'essais comparatifs effectués sur une eau plus chargée (40 g/l).

Pour toutes les concentrations initiales de MeS dans l'eau brute, on constate d'autre part que la concentration des boues obtenues est fonction de la dose de polymère appliquée ; la zone de variation de cette loi est représentée sur la fig.3 ; la valeur moyenne de cette concentration après 1h de sédimentation peut, dans les conditions d'expérience de cette étude, être estimée par la relation :

$$C = 75.10^4 r$$

r étant le rapport entre la dose de polymère AS 23 (en mg/l) et la teneur initiale de MeS dans l'eau brute (en g/l).

La fig.3 nous montre que dans ce cas précis il faut au moins 0,1 g de polymère par kg de MeS pour obtenir des boues suffisamment compactes. Lorsque les polymères en poudre sont assujettis à une dose maximale de 1 g/m³ pour un traitement de potabilisation, de telles eaux ne peuvent alors être débouées dans des conditions optimales que si la teneur en MeS ne dépasse pas 10 g/l ; au-delà de cette valeur, il faut accepter des pertes d'eau importantes au niveau de ce prétraitement : si par exemple les MeS dans l'eau brute sont de 40 g/l, une dose de 1 g/m³ de polymère anionique donne à r une valeur de 0,025 ; d'après la fig.3, la concentration des boues obtenues ne serait alors que de l'ordre de 100 g/l, d'où une perte d'eau par extraction de boues égale à 40% environ au niveau du débouage : de tels exemples numériques montrent qu'il est difficilement possible de produire une eau potable à partir d'une eau brute présentant plus de 40 à 50 g/l de MeS.

Nous l'avons vérifié sur d'autres eaux, par exemple sur une rivière du PEROU où les tests effectués ont donné sensiblement les mêmes résultats que dans le cas ci-dessus :

- impossibilité d'utiliser le sulfate d'alumine en débouillage (vitesse de sédimentation égale à 0,2 m/h au maximum pour 40 g/l de MeS dans l'eau brute) ;
- supériorité des polymères anioniques sur les cationiques ;
- vitesses de décantation possibles avec les meilleurs produits (Prosedim AS23 ou AS37) :

| MeS dans l'eau brute | Dose "eau potable" (1 ppm) | Fort taux de traitement (4 ppm) |
|----------------------|----------------------------|---------------------------------|
| 10 g/l               | 7 m/h                      | -                               |
| 20 g/l               | 5,5 m/h                    | -                               |
| 40 g/l               | 2,5 m/h                    | 5 à 12 m/h                      |

Au-delà de 40 g/l, un déboureur devenait là aussi difficilement exploitable ; nous avons observé également la même limite sur une eau du Moyen-Orient, mais avec cette différence que, dans ce cas, le meilleur résultat était obtenu avec la combinaison d'un polymère cationique (Nalco 5 WP ou Superfloc 573) et d'un anionique (Prosedim AS 34).

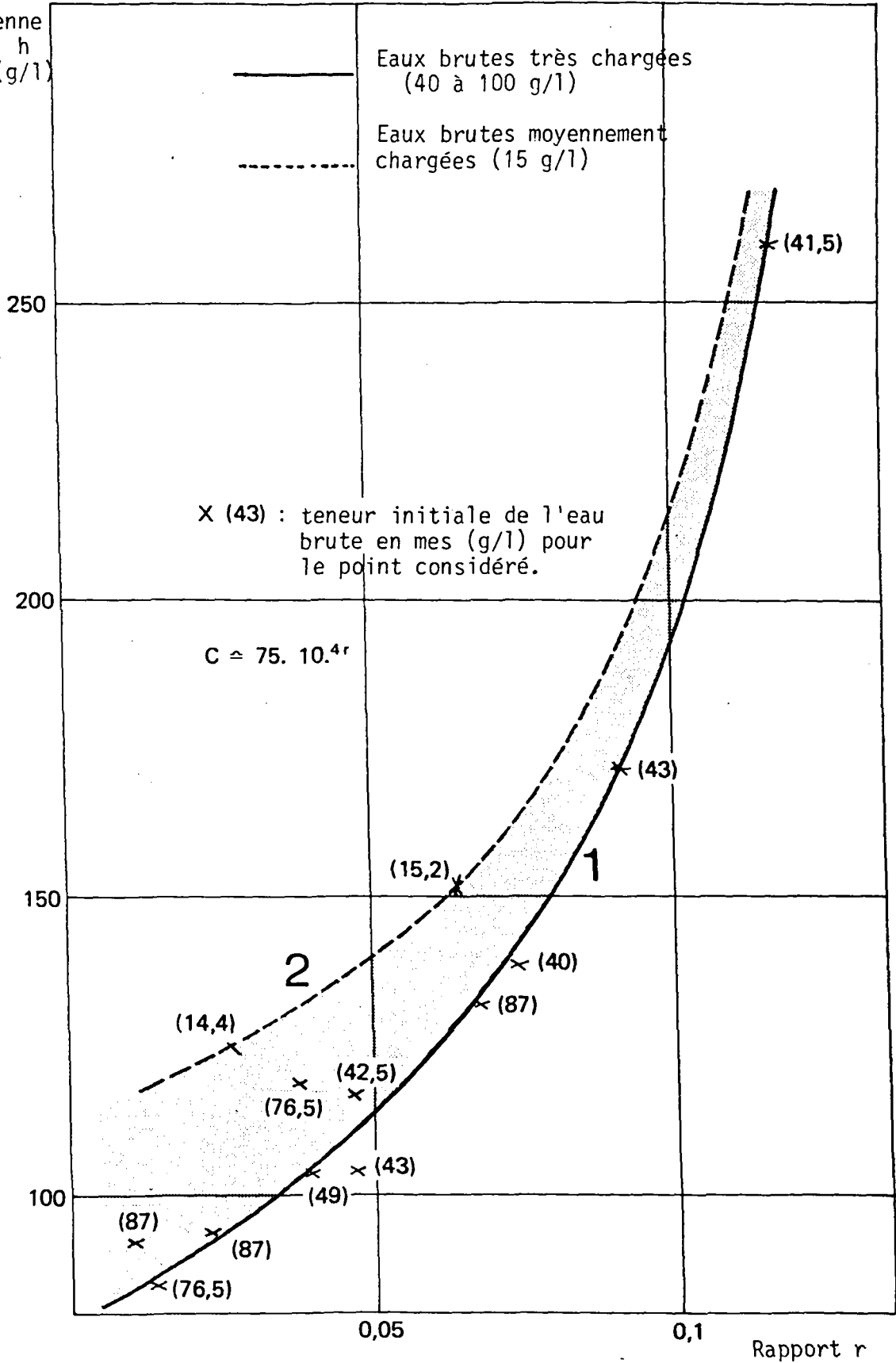
Tous ces problèmes sont donc spécifiques et doivent être étudiés cas par cas. Tout au plus, peut-on dire que lorsque la double coagulation se justifie, le prétraitement optimal peut souvent être conçu sur les bases suivantes (mais à vérifier impérativement en jar-test ou en pilote dans chaque cas particulier) :

| MeS dans l'eau brute            | Traitement chimique  |
|---------------------------------|--|
| inférieures ou égales à 1-2 g/l | Sulfate d'alumine (ou $FeCl_3$ ), seul ou avec polymère cationique, ou polymère cationique seul.                                       |
| de 2 à 5 g/l                    | Polymère cationique seul, en général.  |
| de 5 à 40-50 g/l                | Polymère anionique seul, en général.   |
| plus de 40-50 g/l               | Traitement d'une telle eau déconseillé ; si besoin d'eau impératif, production très réduite, avec polymère anionique seul, en général. |

...

INFLUENCE DE LA DOSE DE POLYELECTROLYTE (AS 23) SUR LA CONCENTRATION DES BOUES OBTENUES APRES 1 HEURE DE SEDIMENTATION.

Concentration moyenne de la boue après 1 h de sédimentation (g/l)



$$r = \frac{\text{dose d'AS 23 en mg/l}}{\text{teneur en mes de l'eau brute, en g/l}}$$

## 2. Eutrophisation des retenues

Il existe un nombre croissant de pays où le problème précédent (fortes pointes en MeS) a tendance à disparaître du fait de la création de retenues de barrage. Mais en réalité, il s'agit souvent d'un simple changement dans la nature des difficultés qu'éprouve le traiteur d'eau, car le phénomène de l'eutrophisation des retenues (et des plans d'eau en général) est le 2ème problème majeur des pays tropicaux.

Il a d'ailleurs fait déjà l'objet de nombreux congrès et publications ; récemment, l'IWSA lui a consacré une manifestation internationale de grande envergure\*. Il n'y a donc pas lieu de donner un grand développement à ce sujet dans le cadre du présent exposé, d'autant plus que nous le reprendrons plus en détail lors du 15ème Congrès IWSA (Tunisie 1984, sujet spécial n°1). Nous voudrions seulement rappeler ici quelques principes qui préoccupent particulièrement le spécialiste du traitement des eaux et qui sont malheureusement souvent négligés dans les projets de barrages de retenue.

En effet, la station de traitement doit souvent être conçue alors que le barrage est encore en projet ou en construction : il faut donc se baser uniquement sur la qualité de l'eau qui coule et qui sera plus tard emmagasinée. En général, on estime que le stockage de l'eau est bénéfique à sa qualité (1)(2)\*\*, donc qu'il y aura amélioration des caractéristiques de la future eau brute par rapport à celles du ou des cours d'eau qui alimenteront la retenue.

Il est bien connu que ce principe n'est vérifié que si on prend toutes les mesures nécessaires pour protéger la retenue contre toute pollution, quelle qu'elle soit, et si on s'est assuré en outre que les charges annuelles de phosphore et d'azote, qui seront entraînées vers la retenue par les ruissellements et les cours d'eau, ne dépassent pas certaines valeurs (3). Par contre, on ne pense pas toujours aux conséquences désastreuses que peut entraîner l'absence d'un nettoyage de la cuvette avant mise en eau de la retenue : lorsque le barrage a été construit dans une zone boisée ou cultivée, la végétation terrestre meurt dès qu'elle est noyée et commence aussitôt à se décomposer ; il en résulte :

- d'une part la dissolution d'une grande quantité de carbone organique (d'abord feuilles, herbes, litière ; puis, plus lentement, l'écorce et enfin le bois lui-même) qui représente une telle demande en oxygène (1,3 à 1,5 g d'oxygène par g de matière sèche biodégradable) que toute la partie inférieure de la masse d'eau (appelée aussi hypolimnion) perd la totalité de son O<sub>2</sub> dissous : dans cette zone, le milieu devient donc réducteur et il y apparaît de nombreux composés indésirables : NH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>S, fer et manganèse dissous, CO<sub>2</sub> agressif ; le traitement d'une telle eau s'apparente plutôt à celui des eaux souterraines et doit comporter une aération ouverte en tête de l'installation ;
- d'autre part, la libération d'une grande quantité d'azote et de phosphore stockés dans la végétation, pouvant atteindre plusieurs centaines de kg de N et de P par ha : les phénomènes de circulation d'eau dans la retenue vont

\* Specialised Conference on Eutrophication and Water Supply, 7th -9th October, 1981, VIENNA (AUSTRIA).

\*\*Voir références bibliographiques à la fin de l'exposé.

mettre ces éléments nutritifs à la disposition des algues qui pourront ainsi se développer dans la partie supérieure de la masse d'eau (appelée aussi épilimnion) et atteindre des concentrations parfois énormes (100 000 algues par ml ou davantage) ; parallèlement, ce développement algal s'accompagne d'une sursaturation de l'eau en  $O_2$  dissous (sous-produit de l'activité de photosynthèse).

Nous connaissons de nombreux barrages dans le monde où ce phénomène s'est produit : 2 exemples en sont donnés dans la fig.4, tous deux en Amérique latine: POZA HONDA (Equateur) et VALENCIA (Vénézuéla); on voit dans chaque cas :

- un épilimnion de 5m d'épaisseur au maximum, très riche en algues et sursaturé en  $O_2$  dissous (la température étant supérieure ou égale à  $25^{\circ}C$ ) ;
- un hypolimnion situé entre une profondeur d'environ 10m et le fond de la retenue, où l'on trouve en abondance  $NH_4$  (2-4 mg/l), Fe (4-5 mg/l), Mn (0,4-0,8 mg/l),  $H_2S$  (1,5-4,5 mg/l), etc. Dans la retenue de Poza Honda, les maxima constatés ont même été :
  - . de 1,2 mg/l pour le manganèse
  - . de 10 mg/l pour le  $NH_4$
  - . de 15 mg/l pour  $H_2S$
- enfin un métalimnion (zone intermédiaire) de quelques mètres correspondant à un mélange des 2 couches précédentes.

Dans la même région du Globe, d'autres retenues nettoyées avant leur mise en eau ne présentaient aucune caractéristique défavorable.

Si l'on tient compte en outre des variations annuelles du niveau de l'eau, l'examen de la fig.4 montre qu'il est indispensable de disposer d'une tour de prise d'eau comportant de nombreux niveaux de prise distants de 2 ou 3 mètres tout au plus, afin de pouvoir choisir à tous moments celui qui fournira à l'installation de traitement l'eau la moins défavorable.

Enfin, on conçoit facilement que dans des cas tels que ceux décrits dans la fig.4, les modalités du traitement soient tout à fait différentes suivant qu'il s'agit des eaux de l'épilimnion ou de celles de l'hypolimnion.

Il y aura donc intérêt (au moins dans tous les cas où l'on sait que l'eutrophisation existe déjà ou est inévitable) à équiper l'installation de façon à pouvoir traiter indifféremment les 2 types d'eau :

- moyens de clarification aptes à éliminer de grandes quantités d'algues ;
- moyens d'aération et d'oxydation aptes à traiter les eaux de l'hypolimnion réducteur.

En conclusion de ce paragraphe, le nettoyage préliminaire des retenues, la bonne conception des tours de prise d'eau, et l'accord du maître-d'oeuvre sur un traitement capable de faire face à toutes les situations, sont les 3 points sur lesquels nous avons pensé bon d'insister. En ce qui concerne plus particulièrement le traitement des eaux où la teneur en algues est très élevée, il s'agit d'un problème intéressant également d'autres types d'eaux et sur lequel nous allons exposer les expériences les plus récentes.

### 3. Elimination des algues

Le phénomène d'un développement excessif de phytoplancton, déjà bien connu en période estivale dans les pays à climat tempéré, est évidemment encore plus aigu dans les pays situés en zone tropicale. Les causes en sont variées : eutrophisation de retenues mal préparées et/ou mal protégées (cas le plus fréquent, que nous avons vu au §2) ; pollution urbaine et/ou industrielle affectant une rivière à faible débit ; cours inférieur d'une rivière issue d'un barrage où les MeS (qui entravaient dans le cours amont le développement des algues en s'opposant à la pénétration de la lumière) décantent et où par contre des nutriments sont dissous dans l'eau (ex. récent : le Nil en aval du Haut-Barrage d'Assouan). Dans certaines eaux, les comptages peuvent révéler plus de 100 000 algues par ml, même dans des eaux de rivière, et même en climat tempéré (ex. : la Vistule à Varsovie).

#### 3.1.- Nécessité d'une élimination complète des algues

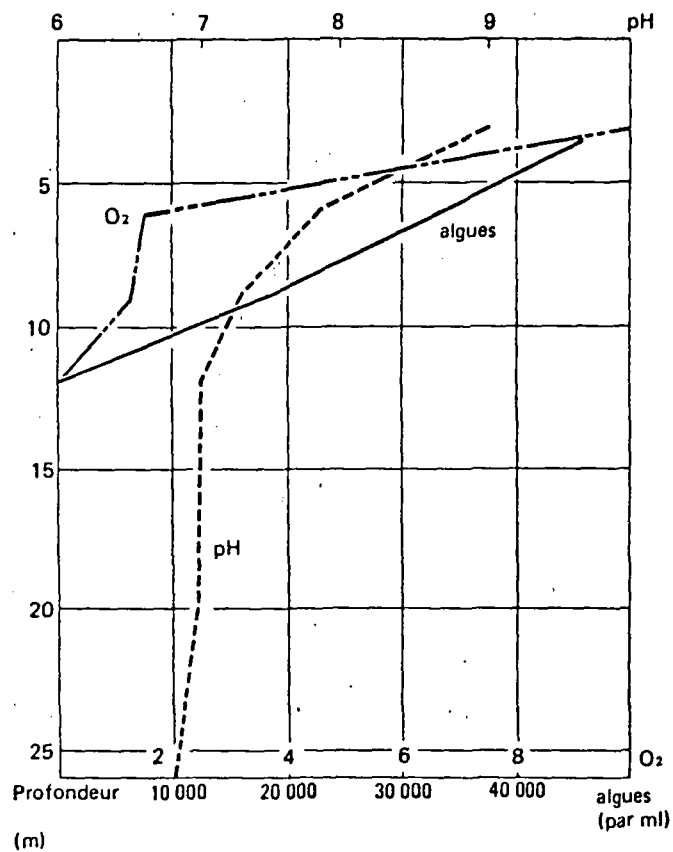
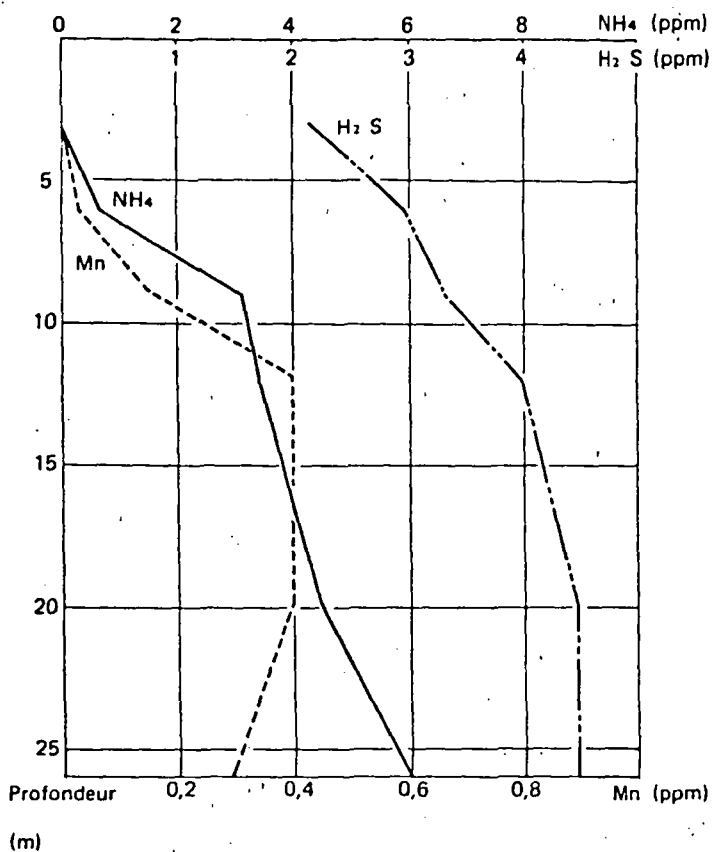
Il n'existe pas vraiment de norme internationale sur les tolérances en algues résiduelles que l'on pourrait admettre dans une eau distribuée. Lorsque dans certains cas il est stipulé que l'eau traitée ne doit pas contenir d'algues, cette exigence n'est pas réaliste car il n'est pas plus envisageable de garantir le zéro absolu pour les algues que pour la turbidité, la couleur, le fer, les matières organiques, etc.

Toutefois, on ne peut que recommander à tout exploitant de régler son traitement pour obtenir une élimination des algues aussi poussée que possible, pour diverses raisons :

- elles augmentent la teneur de l'eau traitée en matières organiques ; une fois tuées par le chlore, elles accélèrent la disparition du chlore résiduel et, en se décomposant, elles consomment de l'oxygène dissous et peuvent faire apparaître des goûts et des odeurs désagréables dans l'eau distribuée ; en outre, la disparition de l'O<sub>2</sub> dissous est un facteur générateur de corrosions ;
- le passage d'un grand nombre d'algues dans l'eau traitée peut signifier la présence simultanée d'autres formes de la vie aquatique : virus, bactéries, animaux libres ou mêmes parasites (parmi ces derniers : l'amibe dysentérique, Entamoeba histolytica ; l'agent de la giardase, le protozoaire Giardia intestinalis ; les larves à queue fourchue, ou cercaires, du ver Schistosoma sp. qui est l'agent de la bilharziose) ;
- dans le réseau, les algues servent de nourriture à des petits animaux dont les oeufs ou les larves ont traversé en même temps le traitement (vers, Crustacés, etc.) et elles favorisent ainsi leur développement.

Dans la pratique, nous avons constaté qu'il ne se posait pas de problèmes dans les réseaux où l'eau distribuée contenait moins de 100 algues de petite taille par ml, c'est-à-dire approximativement moins de 100 unités planimétriques standard de Whipple (20x20 µ), unité que nous désignerons par le sigle a.s.u. Ce chiffre peut être considéré comme une recommandation provisoire, en attendant une norme internationale et, éventuellement, de plus amples recherches sur ce sujet.

1. POZA HONDA (EQUATEUR)



2. VALENCIA (VENEZUELA)

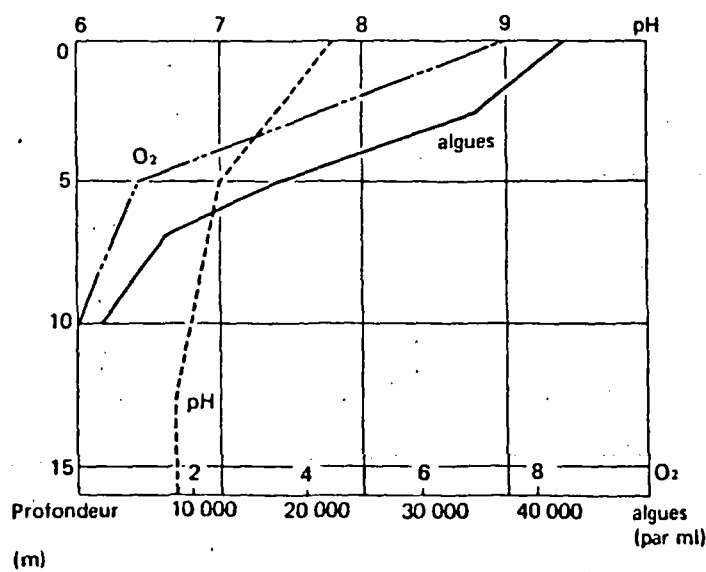
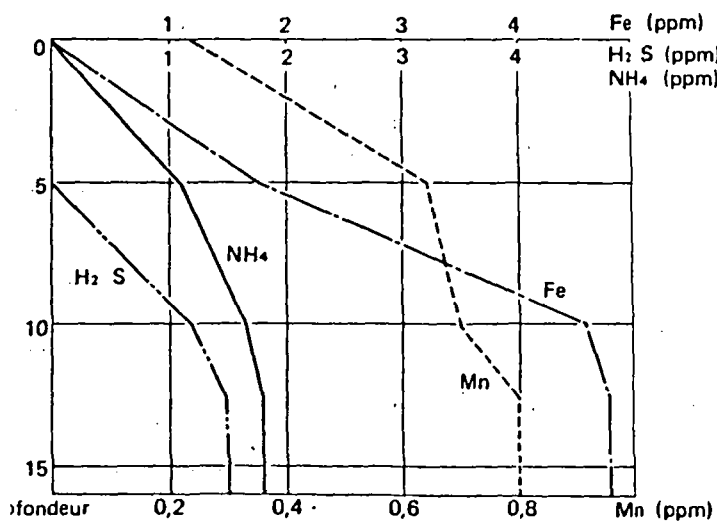
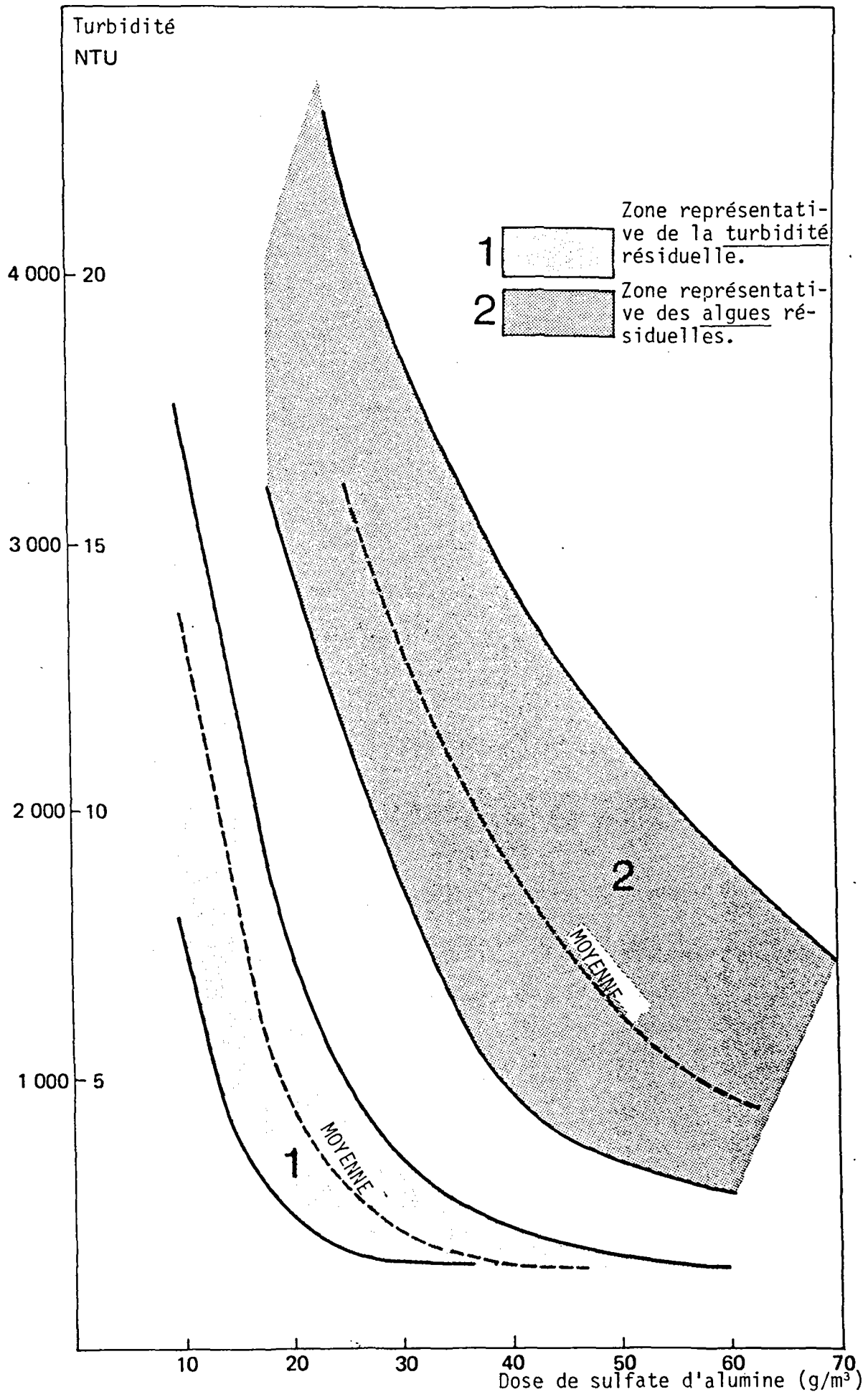


Fig. 5 : EAU DU NIL AU CAIRE (EGYPTE)  
 COMPARAISON DES RESULTATS, OBTENUS EN ESSAIS DE FLOCCULATION,  
 CONCERNANT L'ELIMINATION DES ALGUES PAR RAPPORT A CELLE DE  
 LA TURBIDITE.





### 3.2.- Discussion du choix d'un procédé pour traiter les eaux riches en algues

#### 3.2.1.- Microtamisage

Cette technique est parfois recommandée pour ce type de problème. En fait, nous avons recensé les données fournies dans la littérature par plus de 10 auteurs sur l'emploi des microtamis pour l'élimination du phytoplancton. Les vides de maille utilisés variaient de 15 à 45 microns (35 le plus souvent). Les pourcentages d'élimination globale des algues étaient en général compris entre 50 et 70% ; simultanément, la turbidité n'était réduite que de 5 à 20%.

Nos propres essais ont donné des résultats semblables : sur des toiles dont le vide de maille était compris entre 25 et 35  $\mu$ , nous avons obtenu des abattements moyens respectifs des algues égaux à :

40% sur l'eau du Nil au Caire  
55% sur l'eau de la Seine à Paris  
50 à 65% sur les eaux de divers lacs et retenues.

Il faut ajouter que les pourcentages de réduction des algues sont en outre très dispersés lorsqu'on considère les différentes espèces : ce sont les algues les plus petites qui sont les moins bien éliminées (parfois 10% seulement), alors que ce sont elles qui constituent la plus grande partie de la demande en coagulant (car la coagulation est un phénomène de surface, et les organismes les plus petits sont ceux qui représentent le rapport "surface développée/volume" le plus élevé) ; ce facteur s'ajoute à la faible réduction de la turbidité colloïdale pour ôter au microtamisage toute capacité de réduire sensiblement la consommation ultérieure de coagulant.

A part certains cas particuliers (élimination d'organismes du zooplancton, tels que vers, larves, crustacés ; prétraitement avant filtration lente), le microtamisage ne nous semble donc pas constituer une technique particulièrement adaptée à ce problème.

#### 3.2.2.- Filtration directe

D'après certains auteurs (4)(5) et nos propres essais, la filtration directe sans coagulation, sur filtre à sable homogène ou filtre bicouche, n'élimine que 15 à 75% des algues suivant les espèces.

Avec ce mode de traitement employé dans les meilleures conditions possibles : préchloration, emploi d'un coagulant et d'un flocculant, filtration sur double couche (anthracite + sable) à une vitesse réduite (3,25 m/h), on parvient au mieux à un pourcentage d'élimination de 95% en moyenne (6) ; en outre, d'autres expérimentateurs ont constaté que, même en utilisant la filtration bicouche, les cycles de filtration sont raccourcis d'une façon inacceptable lorsque la teneur en algues de l'eau brute dépasse 1000 asu/ml avec un anthracite de 0,9 mm ou 2500 asu/ml avec un anthracite de 1,5 mm (7).

Nous avons nous-mêmes obtenu des résultats analogues sur l'eau d'une rivière Espagnole de la région de MADRID, étudiée sur installation-pilote : les pourcentages d'élimination d'algues ont été compris entre 63 et 98%, suivant les types de filtres et de traitement. Les meilleurs résultats ont été obtenus avec 10 g/m<sup>3</sup> de sulfate d'aluminium et 0,5 g/m<sup>3</sup> de silice activée sur filtre bicouche

mais dans des conditions d'exploitation qui auraient été très difficiles : la longévité des filtres devenait inférieure à 6 heures lorsque la teneur en algues de l'eau brute dépassait 250 à 300 algues par ml, ce qui correspondait approximativement à 2500 asu/ml.

La filtration directe ne peut donc convenir au traitement des eaux très riches en algues : il faut un stade de clarification préliminaire, qui traditionnellement était jusqu'à maintenant une décantation ; mais nous verrons (§ 3.2.4.) que dans certains cas d'autres procédés peuvent être utilisés. Quel qu'il soit, ce stade de traitement laissera dans l'eau une teneur en algues résiduelles de l'ordre du millier par ml : une filtration sur sable doit donc toujours assurer la finition de l'eau traitée.

### 3.2.3.- Choix d'un type de décanteur et réglage du traitement

Si nous nous reportons à nouveau aux données fournies par la littérature, nous constatons que, lorsqu'il s'agit de traiter de telles eaux, les rendements des décanteurs statiques sont très variables : on a cité des pourcentages de réduction des algues, dans l'eau décantée issue d'appareils conventionnels, de 59% en moyenne dans l'eau de la Tamise, à Staines (8), de 37% (coagulation au sulfate d'aluminium) à 97% (à condition de pratiquer une décarbonatation à la chaux) sur la rivière Iowa (9) ; par contre, en utilisant des appareils à lits de boues, il a été constaté des rendements moyens d'élimination de 85-86% (sans préchloration) à 95-97% (avec préchloration) sur une rivière polonaise (10) ; dans ce dernier cas, le zooplancton était en même temps réduit de 93-96% (sans préchloration) à 99% (avec préchloration), et la filtration ultérieure fournissait évidemment une eau traitée irréprochable.

Nos propres études ont toujours été en accord avec ces données bibliographiques. C'est pourquoi depuis plus de 20 ans, nous utilisons systématiquement la technique de la décantation en lit de boues pulsé (dans l'appareil breveté bien connu dans le monde entier sous le nom de PULSATOR) pour le traitement d'eaux à teneurs élevées en algues.

Dès 1960, nous avons étudié pendant plusieurs années consécutives l'efficacité du Pulsator pour éliminer les algues dans l'eau de la Seine en amont de PARIS. Nous avons vite constaté que la réduction de la population phytoplanctonique totale pouvait se maintenir constamment entre 95 et 99% dans l'eau décantée et pratiquement à 100% dans l'eau filtrée ensuite sur sable ; de même que pour l'élimination de la turbidité ou de la couleur, la filtration bicouche ne se justifie pas si la décantation s'est effectuée dans de bonnes conditions.

Nous avons eu souvent l'occasion de vérifier la supériorité du Pulsator sur la décantation statique, non seulement en ce qui concerne les performances de vitesse, mais aussi celles de qualité d'eau décantée et de consommation de réactifs.

Aux PHILIPPINES par exemple, sur l'eau de la LAGUNA DE BAY où l'on dénombrait 50 000 à 100 000 algues par ml (dont 90 à 95% de Cyanophytes : Microcystis, Anabaena, Anabaenopsis, Oscillatoria, Lyngbya, etc.), l'essai de floculation ne permettait pas de prévoir une réduction des algues de plus de 90% par décantation statique. Par contre, un Pulsator-pilote en retenait 95 à 98% et même 99,5% avec un traitement bien réglé (7 g/m<sup>3</sup> de chlore, 50 g/m<sup>3</sup> de sulfate d'alumine et 0,1 g/m<sup>3</sup> de polyélectrolyte anionique en poudre).

D'autres essais comparatifs ont été effectués sur un lac d'AFRIQUE TROPICALE, où l'on dénombrait en moyenne 2500 filaments d'Anabaena et 2500 colonies de Microcystis par ml d'eau, plus un millier environ de Diatomées diverses (surtout Melosira et Cyclotella) : pour traiter cette eau, il fallait 60 à 70 g/m<sup>3</sup> de sulfate d'aluminium seul ou 40 à 50 g/m<sup>3</sup> de ce coagulant associé à la dose d'acide sulfurique nécessaire pour amener le pH à 6,2 environ. Sur l'installation industrielle, le Pulsator a été comparé avec un "Upflow hopper bottom clarifier" (UHBC) avec les résultats suivants :

| Appareil | Vitesse réelle de décantation | Floculant (silice activée) | Ajustement pH (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) | % élimination du plancton |
|----------|-------------------------------|----------------------------|---|---------------------------|
| Pulsator | 3,3 m/h                       | non                        | non   | 99,5                      |
| UHBC     | 1,35 m/h                      | oui (2 g/m <sup>3</sup> )  | oui   | 98,7                      |
| Pulsator | 4,1 m/h                       | non                        | non   | 96,7                      |
| UHBC     | 1,1 m/h                       | oui (2 g/m <sup>3</sup> )  | oui   | 95,9                      |

En EGYPTE, de nombreux Pulsator existent maintenant au CAIRE et à ALEXANDRIE pour traiter l'eau du Nil, chargée d'algues à longueur d'année depuis la construction du Haut-Barrage d'Assouan. A ALEXANDRIE, une forte proportion de ces appareils correspondait en fait à une modernisation de vieux décanteurs statiques, ce qui a permis à l'Alexandria Water General Authority d'apprécier tous les avantages de cette nouvelle technologie :

- production par unité de surface multipliée par un facteur de 2 à 2,5 (tout en améliorant la qualité de l'eau décantée) ;
- économie de 15 à 45% sur la dose de coagulant, et de 15 à 35% sur la dose de chlore.

Cette efficacité du Pulsator dans l'élimination des algues peut être expliquée par l'effet de filtre fluidisé qu'exerce le lit de boues, et aussi par le temps de contact prolongé entre l'eau ascendante et le lit de boue (3/5 environ du temps de séjour total dans l'appareil) : cet effet positif de l'allongement du temps de floculation avait déjà été remarqué par AL-LAYLA & MIDDLEBROOKS, 1974 (11) et nous l'avons vérifié en diverses circonstances, en particulier sur l'eau du Nil comme le montre l'essai de laboratoire récapitulé dans le tableau ci-après :

| Traitement : chlore = 6 g/m <sup>3</sup><br>sulfate d'alumine = 30 g/m <sup>3</sup><br>Nalco 600 SS1 = 1 g/m <sup>3</sup> |      |      |      |      |      |
|---|------|------|------|------|------|
| Temps de floculation<br>(minutes)   | 5    | 10   | 20   | 30   | 45   |
| Algues résiduelles<br>(par ml)  | 1940 | 1600 | 1380 | 1150 | 960  |
| % élimination<br>(eau brute: 11 500 par<br>ml)  | 83,1 | 86,1 | 88   | 90   | 91,6 |
| Chlore résiduel<br>(libre, en g/m <sup>3</sup> )  | 1,4  | 1,15 | 1,1  | 0,95 | 0,9  |

Toutefois, l'efficacité optimale de la décantation ne sera atteinte que si le traitement est bien réglé ; il faudra en général :

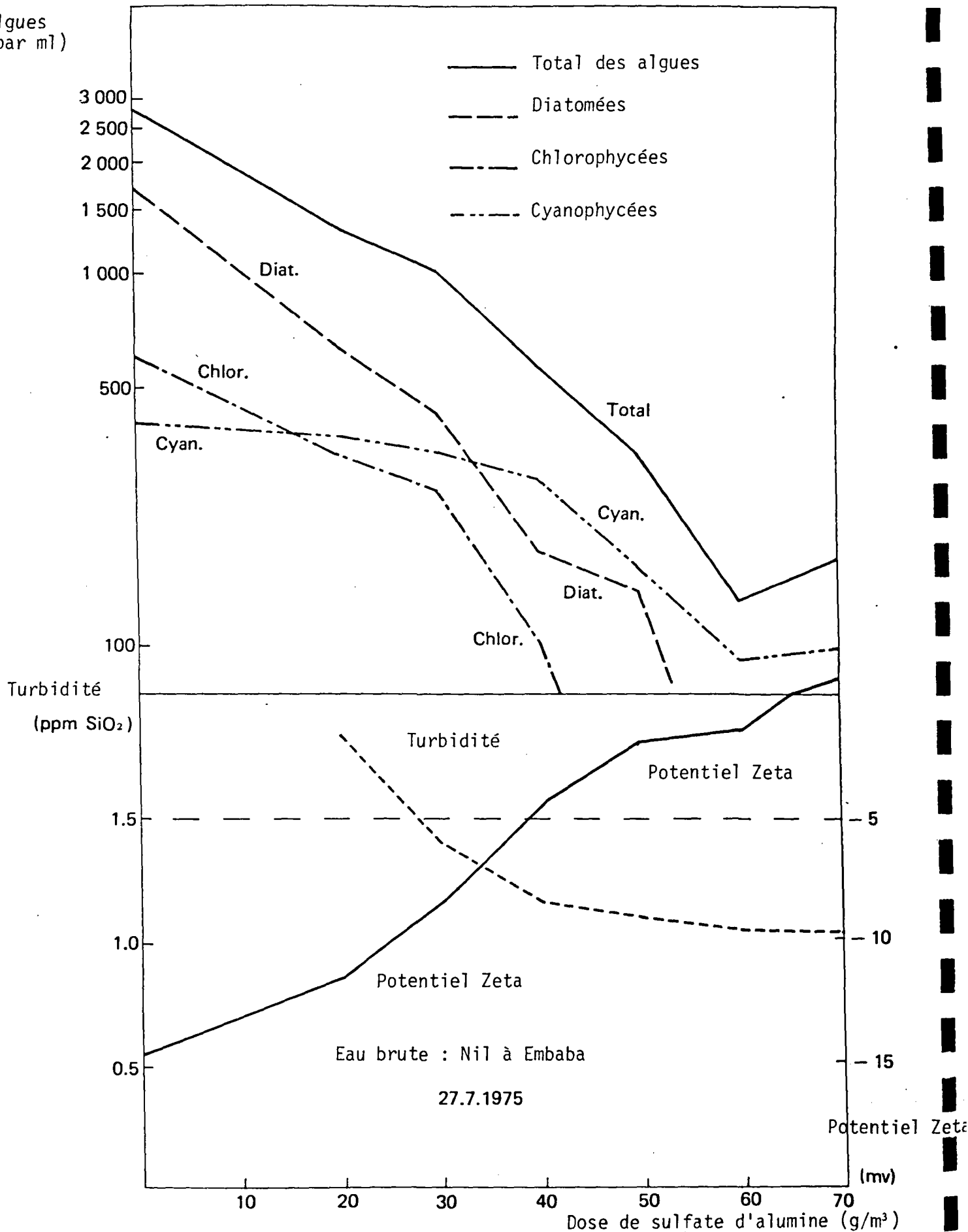
- une préoxydation (Cl<sub>2</sub>, ClO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>...) pour certains types d'algues, comme les Chlorophycées ;
- un traitement au sulfate d'alumine vraiment basé sur l'élimination des algues, et pas seulement sur celle de la turbidité ; nous allons illustrer ce principe en reprenant l'exemple de l'eau du Nil : nous avons étudié cette eau pendant plusieurs années consécutives ; l'ensemble des résultats des essais de laboratoire est récapitulé sur la fig.5, où l'on voit qu'il faut beaucoup plus de coagulant pour obtenir moins de 1000 algues résiduelles par ml d'eau décantée que pour obtenir une turbidité inférieure à 5 NTU. Ce phénomène est dû au fait que la coagulation des colloïdes argileux est déjà presque complète dès que le potentiel Zeta (pZ) est supérieur à -5mV, alors que celle des algues demande l'annulation du pZ : ce principe est illustré par la fig.6, qui est relative à une expérience comparant les résultats de la mesure électrophorétique du pZ avec ceux du jar-test (turbidité et comptage des algues) ;
- enfin, un flocculant approprié, au moins dans certains cas ; si ce flocculant est cationique, son action coagulante pourra permettre une diminution de la dose de sulfate d'alumine.

Il faut encore signaler que l'élimination des algues est plus ou moins facile suivant la nature du groupe dominant : celle des Diatomées présente en général peu de difficultés, même au sulfate d'alumine seul ; celle des algues vertes (Chlorophycées) réclame en général une préoxydation, comme la préchloration : abattement moyen de 85% sans préchloration, de 95 à 98% avec préchloration (qu'il faut donc remplacer par une autre préoxydation, comme l'ozone ou le dioxyde de chlore, quand le problème des trihalométhanes conduit à supprimer le chlore en début de traitement) ; quant aux algues bleues (Cyanophycées), ce sont celles qui sont le plus sensibles au réglage optimal de la dose de coagulant, comme cela apparaissait d'ailleurs dans la partie supérieure de la fig.6, relative à un jar-test effectué sur l'eau du Nil. Dans les installations du CAIRE, du reste, tous les comptages que nous avons effectués sur les

Fig. 6 : EAU DU NIL AU CAIRE (EGYPTE)  
ETUDE EN ESSAI DE FLOCCULATION

ALGUES RESIDUELLES EN FONCTION DE LA DOSE DE COAGULANT - COMPARAISON  
AVEC LE POTENTIEL ZETA ET LA TURBIDITE.

Algues  
(par ml)



différentes eaux (brute, décantée, filtrée), en différenciant les espèces d'algues, ont bien confirmé ce que nous avons constaté dans les études de laboratoire : en effet, sur l'installation, comme dans le jar-test, c'est la Cyanophycée *Anabaenopsis* qui subsiste lorsque la dose de coagulant est inférieure à l'optimum absolu ; par rapport à l'ensemble de la population phytoplantonique (en nombre d'organismes par ml d'eau), elle représente en général :

10 à 30% des algues dans l'eau brute ;

75 à 90% dans l'eau décantée ;

85 à 100% dans l'eau filtrée.

Si l'on se souvient par ailleurs que les Cyanophycées sont réputées pour engendrer des goûts et des odeurs désagréables, être occasionnellement toxiques, sécréter des mucilages provoquant des post-floculations dans les réseaux, élaborer des précurseurs de THM, etc. (12), on en conclura que ce sont les algues les plus gênantes pour le traitement des eaux ; si l'on ajoute que ce sont justement elles qui constituent le groupe dominant dans la plupart des problèmes d'eutrophisation, cette dernière remarque apporte une justification supplémentaire aux principes qui avaient été énoncés dans le §2 (prévention de l'eutrophisation).

### 3.2.4.- Décantation ou Flottation ?

Depuis peu, la situation a eu tendance à évoluer avec l'extension de la flottation à air dissous : d'abord appliqué à certaines eaux résiduaires industrielles (industrie pétrolière, papeteries, industries agro-alimentaires, etc.) et à des eaux naturelles claires mais très colorées, ce procédé s'est étendu progressivement à tous les autres domaines du traitement des eaux : effluents urbains, épaissement des boues, et depuis peu élimination des algues (qu'il s'agisse d'effluents de lagunage ou d'eaux naturelles)(13).

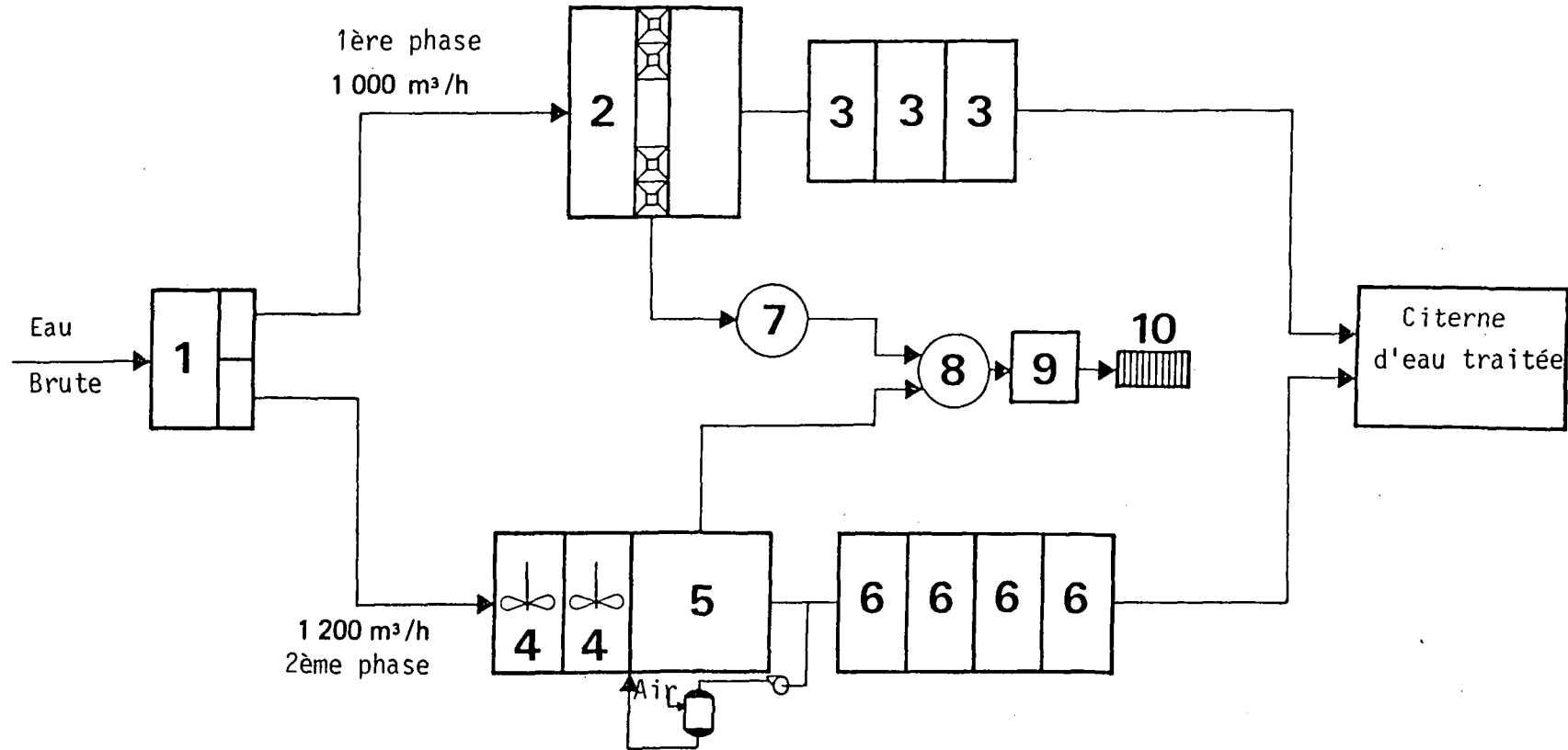
Dans ce dernier cas, elle a manifesté des performances très intéressantes, tant dans la vitesse de séparation des phase liquide et solide (5 à 8 m/h) que dans la concentration des boues produites, et même parfois dans la consommation en réactifs.

Un exemple nous en est donné par l'installation de MOULLE, située en FRANCE près de Dunkerque : elle tire son eau brute d'un bras mort très eutrophe et présente le double intérêt d'offrir (voir fig.7) :

- une comparaison entre deux filières comportant respectivement une décantation (1ère phase) et une flottation (2ème phase) ;
- un exemple d'une double utilisation de la flottation :
  - . traitement de l'eau (élimination des algues) dans la 2ème phase ;
  - . épaissement des boues issues de la décantation de la 1ère phase, avant de les déshydrater sur filtre-pressé (alors que les boues provenant de la flottation principale choisie pour l'extension sont suffisamment concentrées pour être directement pressées sans épaissement intermédiaire) .

...

Fig. 7 : SCHEMA GENERAL DES 2 FILIERES DE L'INSTALLATION DE MOULLE.



1. Ouvrage de répartition d'eau brute
- 1ère phase :
- 2. Pulsator
  - 3. 3 filtres à charbon actif en grains
- 2ème phase :
- 4. 2 flocculateurs
  - 5. Flottation
  - 6. 4 filtres à charbon actif en grains

- Traitement des boues :
- 7. Epaissement des boues de décantation par flottation
  - 8. Stockage des boues épaissies
  - 9. Conditionnement des boues
  - 10. Filtre-presse.

Au cours de l'exploitation, la flottation a présenté ici 2 avantages principaux sur la décantation :

- réduction de 20 à 40% du taux de traitement en coagulant (chlorosulfate ferrique dans ce cas) avec obtention du même résultat sur les 2 filières : avant filtration, 1000 à 1200 algues résiduelles par ml dans l'eau flottée comme dans l'eau décantée (eau brute : 30 000 à 50 000 algues/ml) ;
- très bonne aptitude à former des boues concentrées :
  - . traitement de l'eau : les boues "flottées" présentent une concentration de 25 à 30 g/l de matières sèches, alors que la concentration des boues "décantées" est environ 10 fois plus faible : c'est pourquoi les premières n'ont pas besoin d'un épaissement intermédiaire avant le filtre-pressé ;
  - . épaissement des boues (en provenance de la décantation) : augmentation de la concentration à 25 g/l en moyenne ; un épaisseur statique aurait réclamé une surface au moins 10 fois plus grande.

En outre, la comparaison des coûts d'exploitation des deux filières de traitement fait ressortir que si les deux procédés sont pratiquement équivalents lorsqu'on ne considère que le traitement de l'eau, la flottation permet de réaliser une économie globale de 10 à 15% sur les frais de fonctionnement quand on y ajoute le traitement des boues : nous n'insisterons pas sur ce calcul, qui a déjà été présenté lors du dernier Congrès International de l'I.W.S.A. à Zürich (14).

Pour l'élimination des algues, la flottation se présente donc désormais comme un sérieux concurrent de la décantation, même vis-à-vis des appareils les plus performants. La question du choix du procédé peut maintenant se poser dans de nombreux cas. Dans l'état actuel de la technique, on peut estimer que :

- la flottation constituera une solution intéressante dans un nombre de cas encore limité, car il faut :
  - . que l'eau ne présente jamais de teneurs importantes en MeS : une quantité raisonnable de MeS peut toutefois être éliminée si le flottateur comporte un double raclage, de fond et de surface (comme on peut le voir sur la fig.8 : appareil circulaire, et sur la fig.9 : appareil rectangulaire), mais la limite supérieure admissible ne sera pas très élevée ;
  - . que l'endroit où la flottation est installée comporte les moyens matériels et humains pour remédier immédiatement à toute panne de l'appareillage : en effet, un Pulsator par exemple peut supporter, plus ou moins longtemps suivant les cas, un arrêt momentané du dispositif de mise sous vide de la cloche sans que la qualité de l'eau traitée en soit affectée ; une panne mécanique a déjà des conséquences plus fâcheuses dans les appareils comportant des flocculateurs avec agitateurs ou une recirculation par turbine ; mais dans un flottateur, tout arrêt du circuit de pressurisation rend immédiatement le traitement inefficace et l'installation doit alors être arrêtée ;
- la décantation dans un appareil à lit de boues du type Pulsator reste donc la solution à choisir pour les eaux à turbidité variable et pour les pays où l'on peut craindre des difficultés de maintenance.

...



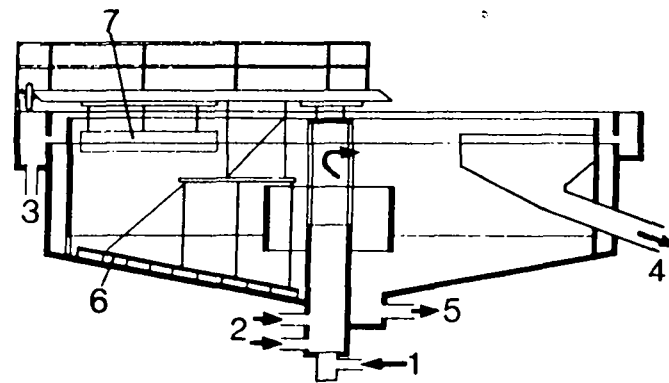


Fig. 8 : SEDIFLOTAZUR

- |                              |                         |
|------------------------------|-------------------------|
| 1. Arrivée d'eau brute       | 4. Sortie des flottants |
| 2. Arrivée d'eau pressurisée | 5. Sortie des boues     |
| 3. Sortie d'eau traitée      | 6. Raclage de fond      |
|                              | 7. Raclage de surface   |

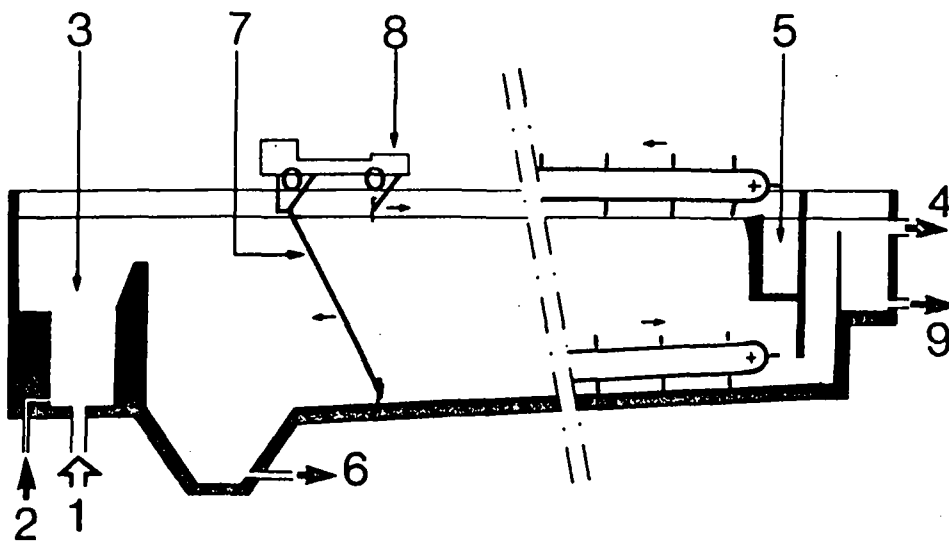


Fig. 9 : FLOTAZUR longitudinal

- |                              |                                     |
|------------------------------|-------------------------------------|
| 1. Arrivée d'eau brute       | 5. Sortie des flottants             |
| 2. Arrivée d'eau pressurisée | 6. Extraction des boues             |
| 3. Zone de mélange           | 7. Raclage de fond                  |
| 4. Sortie d'eau traitée      | 8. Raclage de surface               |
|                              | 9. Eau recyclée vers pressurisation |

#### 4. Substances toxiques d'origine naturelle

Même les pays encore non industrialisés connaissent certains fléaux naturels d'origine minérale dans leurs eaux d'alimentation. Nous en citerons deux que nous avons eu l'occasion d'étudier plus particulièrement ces dernières années.

4.1.- Fluor (rappel de la norme W.H.O. : 0,8 à 1,7 mg/l). C'est en général un problème d'eaux souterraines : certaines d'entre elles en contiennent 15 mg/l ou davantage. Pour le résoudre, on dispose en principe de divers types de traitements spécifiques, mais la plupart d'entre eux (coagulation-floculation au sulfate d'alumine à forte dose ; adoucissement à la chaux avec précipitation de magnésie ; filtration sur phosphates tricalciques d'origine naturelle ou synthétique, etc.) posent des problèmes soit de coût d'exploitation, soit de fiabilité, soit de tenue des matériaux dans le temps. Actuellement, la seule technique qui paraisse industriellement applicable est la filtration sur des billes d'alumine activée, comme le reconnaissent d'ailleurs la plupart des Auteurs ; la taille du matériau doit être de l'ordre de 0,3 mm, et la vitesse de passage de 10 m<sup>3</sup>/h environ par m<sup>3</sup> d'alumine ; suivant les conditions opératoires, la capacité de rétention varie en général de 2,5 à 5 kg F<sup>-</sup>/m<sup>3</sup> d'alumine activée ; lorsque celle-ci est saturée, il faut la régénérer : la régénération se fait par le sulfate d'alumine, ou par la soude et l'acide sulfurique. Nos études ont fait ressortir les points suivants :

- les résultats des essais de laboratoire, obtenus sur des eaux artificiellement enrichies en ion fluorure (sous forme de NaF), concordent avec ceux que l'on obtient sur le terrain avec des eaux contenant naturellement des quantités élevées de fluor ;
- contrairement à ce que préconisent de nombreux Auteurs, l'acidification préliminaire de l'eau à pH 5,5 est rarement souhaitable : si cette opération augmente effectivement la capacité de fixation de l'ion fluorure par l'alumine activée, elle met en oeuvre de telles quantités d'acide pour abaisser le pH, puis de réactif alcalin pour corriger l'agressivité carbonique de l'eau traitée, qu'elle est anti-économique dans la plupart des cas ;
- c'est la régénération par la soude et l'acide sulfurique qui est la plus économique : les consommations de réactifs à prévoir sont de 8 à 9 g NaOH et de 10 à 11 g H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> par g d'ion F<sup>-</sup> fixé.

4.2.- Arsenic (rappel de la norme W.H.O. : 0,05 mg/l). Plusieurs régions du Globe, dont certaines situées en climat tropical, connaissent ce problème. C'est ainsi qu'à Taiwan, les zones côtières du Sud-Ouest étaient alimentées en eaux souterraines riches en arsenic (0,6 à 2 mg/l) et que de nombreux habitants étaient, de ce fait, frappés de la maladie du "black foot" (15)(16). Dans certains cas, on peut s'adresser à d'autres sources d'eau pour écarter la maladie ; mais, de même que pour les nitrates ou le fluor, il n'est pas toujours possible de trouver une telle solution de remplacement.

C'est pourquoi nous avons étudié les possibilités d'éliminer l'arsenic :

- dans les eaux souterraines : par filtration sur alumine activée, comme pour le fluor ; toutefois, les performances de ce procédé vis-à-vis de l'arsenic sont moins bonnes que pour le fluor, comme l'avait du reste également constaté BELLACK (17) ;

- dans les eaux superficielles : dans le cadre d'un traitement complet par décantation-filtration, surtout s'il s'agit d'eau pouvant présenter de fortes turbidités ; par exemple, l'installation que nous avons construite à ILO (Pérou) pour un débit de 0,5 l/s permet d'éliminer l'arsenic (0,8 mg/l en moyenne dans l'eau brute) aussi bien par une coagulation-floculation classique que par une décarbonatation à la chaux ; pour le premier type de traitement, nos constatations rejoignent celles de SHEN (15) : d'une part les sels de fer (30 à 35 g/m<sup>3</sup> FeCl<sub>3</sub> dans le cas présent) sont plus efficaces que les sels d'aluminium (le pH optimal étant de l'ordre de 7 pour les deux réactifs) ; d'autre part une préchloration améliore les résultats du traitement ; enfin ce procédé risque d'enrichir dangereusement le sable en arsenic, ce qui peut entraîner l'obligation de pratiquer de temps à autre un lavage des filtres à la soude. Quant à la décarbonatation à la chaux, elle doit être réglée sur un pH voisin de 11 (il faut alors 300 à 400 g/m<sup>3</sup> de chaux pure), en présence de 10 à 20 g/m<sup>3</sup> de FeCl<sub>3</sub> : dans ces conditions, l'abattement maximal de l'arsenic est déjà réalisé dans le décanteur et le sable des filtres n'est menacé d'aucun enrichissement en arsenic. Ces divers résultats peuvent être résumés par le tableau ci-après :

| Valeur maximale admissible (ppb) |       | Conditions de traitement | pH 7               |                    | pH 11  |
|----------------------------------|-------|--------------------------|--------------------|--------------------|--------|
|                                  |       |                          | sans préchloration | avec préchloration |        |
| W.H.O                            | Pérou |                          |                    |                    |        |
| -                                | -     | Arsenic résiduel (ppb) : |                    |                    |        |
| 50                               | 100   | - eau décantée           | 100 à 180          | 50 à 70            | 5 à 15 |
|                                  |       | - eau filtrée            | 25 à 35            | 10 à 20            | 3 à 10 |

### 5. Lutte contre la corrosion

Le souci du traiteur d'eau ne doit pas s'arrêter aux normes de potabilité, qui ne concernent que le consommateur : il lui faut aussi songer à la protection du réseau, ce qui est d'ailleurs encore une façon de protéger le consommateur en empêchant le départ dans l'eau d'éléments métalliques indésirables. En climat tropical, les problèmes de corrosion peuvent être particulièrement aigus pour différentes raisons :

- les eaux à forte turbidité (voir § 1), très colorées ou contenant beaucoup d'algues (voir § 3) réclament de fortes doses de coagulant minéral, dont l'action acidifiante (qu'il s'agisse de sulfate d'alumine ou de chlorure ferrique) a pour effet de rendre l'eau traitée agressive ; en outre, il y a simultanément enrichissement de l'eau en ions Cl<sup>-</sup> ou SO<sub>4</sub><sup>-</sup> ;
- dans de nombreux pays, certaines eaux présentent des caractéristiques extrêmes (par exemple : alcalinité et dureté très faibles, de l'ordre de 10 ppm CaCO<sub>3</sub> ; fortes teneurs en chlorures) qui constituent autant de facteurs de corrosion si on ne prend pas de mesures appropriées ;

- à composition chimique comparable, les phénomènes de corrosion seront plus rapides avec une eau chaude qu'avec une eau froide.

C'est pourquoi il convient de rappeler les recommandations suivantes pour la protection des conduites métalliques, et plus particulièrement celles qui sont en fonte ou en acier :

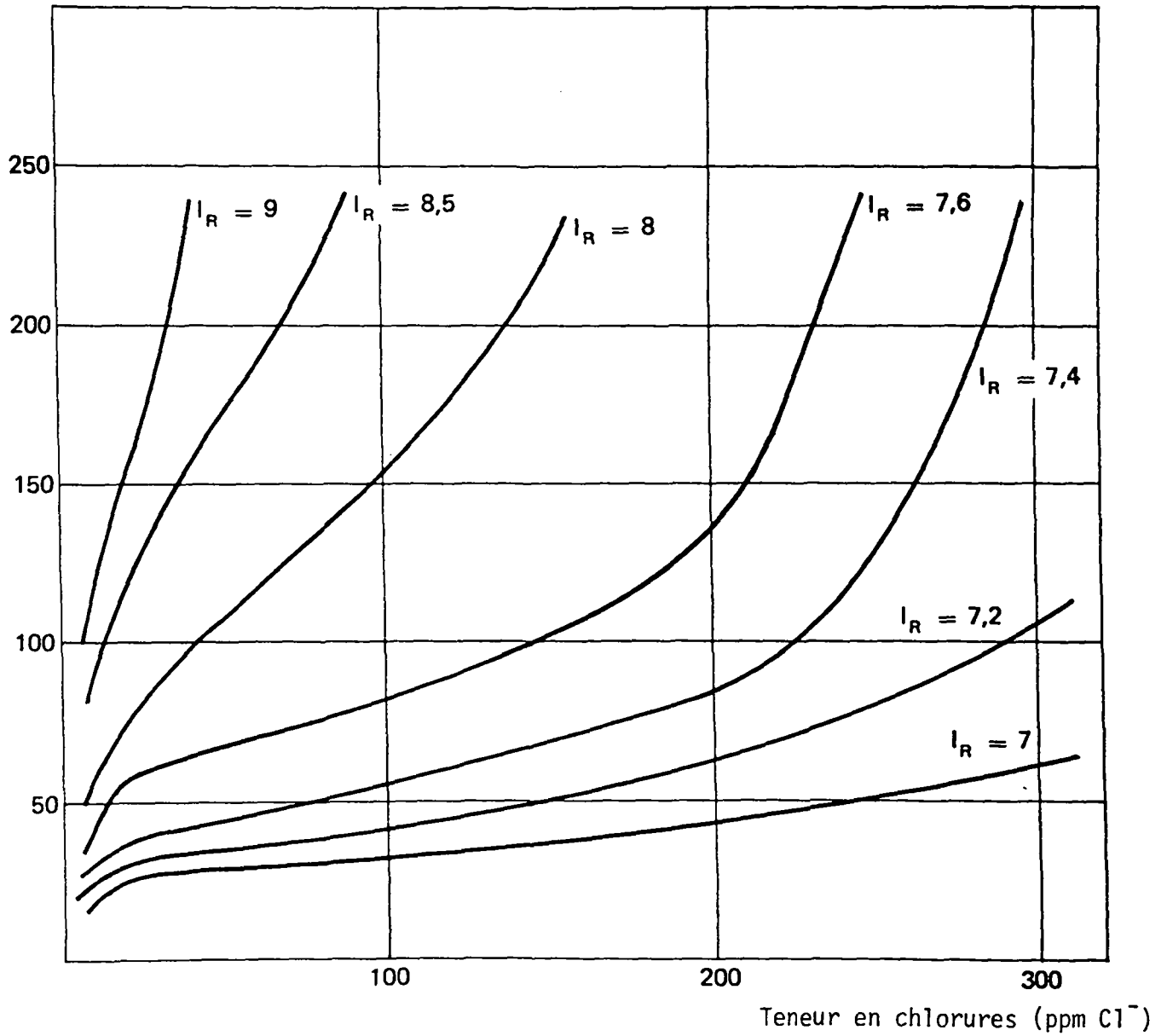
- a) dans la quasi-totalité des cas, le stade final du traitement de l'eau doit comporter non seulement une désinfection, mais aussi l'injection d'un produit alcalin pour assurer les conditions d'équilibre calco-carbonique de l'eau ;
- b) en outre, si l'alcalinité et la dureté calcique de l'eau sont très faibles (moins de 60 à 70 ppm  $\text{CaCO}_3$ , s'il n'y a pas d'autres éléments défavorables ; cette limite doit être augmentée en présence de chlorures et de sulfates), il faut favoriser la formation d'un film protecteur :
  - soit en augmentant artificiellement l'alcalinité et la dureté de l'eau traitée, pour que la couche protectrice de Tillmans puisse se constituer ; pour cela, diverses solutions sont envisageables ( $\text{CO}_2$ +chaux ;  $\text{CO}_2$ + $\text{CaCO}_3$  ;  $\text{NaHCO}_3$  ;  $\text{CaCl}_2$  ;  $\text{H}_2\text{SO}_4$  +  $\text{CaCO}_3$ , etc.) ;
  - soit en pratiquant un traitement filmogène, tel que le LTP (qui est un hexamétaphosphate de zinc) mis au point par notre Société ;
- c) l'eau doit contenir au moins 5 à 6 mg/l d'oxygène dissous ;
- d) en cas d'eau présentant des caractéristiques très particulières, il y aura toujours intérêt à pratiquer des tests de corrosion sur place, par exemple avec une série d'anneaux en acier ordinaire sur lesquels l'eau circule à une vitesse représentative des conditions réelles et que l'on prélève un par un après des temps de contact croissants (par exemple à la cadence d'1 par mois ou tous les deux mois) pour mesurer leur perte de poids après élimination des produits de corrosion : les résultats d'une expérience semblable sont représentés sur la fig.10, relative à une eau du PEROU dont la teneur en chlorures pouvait s'élever à plus de 300 mg/l  $\text{Cl}^-$  ; en 6 mois, cette étude a permis de déterminer, dans les conditions d'expérience relatives à cette eau, la valeur qu'il fallait donner à l'indice de Ryznar ( $I_p = 2 \text{ pH} - \text{pH}$ ), c'est-à-dire au pH de l'eau, en fonction de la teneur en chlorures, pour maintenir le taux de corrosion à une valeur inférieure à une limite supérieure déterminée.

Dans le type d'essai décrit ci-dessus, on estime que les phénomènes de corrosion restent tolérables tant que la perte de matière des anneaux ne représente pas une attaque de plus de 70 à 80  $\mu/\text{an}$  : la fig.10 montre que cette condition sera difficilement satisfaite si la teneur en chlorures est supérieure à 100 mg/l et/ou si l'indice de Ryznar dépasse une valeur inférieure ou égale à 8. Or un calcul simple montre qu'un taux de corrosion de 130  $\mu/\text{an}$  (soit 28 MDD) représente déjà une perte de métal de 1 kg/m<sup>2</sup>/an, soit 1 tonne de métal par an et par km d'une conduite  $\varnothing$  300 mm. On réalise ainsi l'impact technique, économique et hygiénique de ces phénomènes, et par conséquent la nécessité d'intensifier la lutte contre la corrosion.

Fig. 10 : RIO CHIRA (PEROU)

VITESSE DE CORROSION EN FONCTION DE LA TENEUR EN CHLORURES POUR DIVERSES VALEURS DE L'INDICE DE RYZNAR ( $I_R$ ).

Vitesse de corrosion (mm/an)



|  |
|--|
| <p>CHAPITRE II. QUELQUES EXEMPLES DE DEVELOPPEMENTS RECENTS EN MATIERE DE TECHNOLOGIE.</p> |
|--|

### 1. Décantation

Nous avons eu l'occasion de citer plus haut certaines performances encore peu connues du Pulsator dans l'élimination des algues (voir § 3.2.3.) : ces résultats étendent encore le champ d'application de cet appareil qui a déjà fait ses preuves dans le traitement des eaux moyennement turbides, dans l'optimisation de l'emploi du charbon actif en poudre, etc.

Parallèlement, la décantation lamellaire a connu un important développement ces dernières années ; il était alors logique de combiner les avantages des deux procédés, ce qui a donné naissance à 2 nouveaux appareils : le Superpulsator et le Pulsator lamellaire (voir fig.11). Ils ont tous deux été largement décrits dans de nombreuses conférences et publications (18)(19)(20)(21)(22)(23) et nous ne reviendrons donc pas sur leurs principes de conception et de fonctionnement ; dans le cadre de cet exposé, nous nous contenterons d'en citer quelques applications particulières.

#### 1.1.- Superpulsator

Il s'agit de l'appareil qui combine intégralement les 2 types de décantation (lamellaire et à lit de boues pulsé) en plaçant des plaques, inclinées à 60° sur l'horizontale et espacées d'une trentaine de cm, à l'intérieur-même du lit de boues (fig.11 A). Cette disposition permet un accroissement important de la concentration du lit de boues et, par suite, une vitesse admissible égale à environ 2 fois celle d'un Pulsator classique pour l'obtention de la même qualité d'eau décantée.

De nombreux appareils de ce type existent déjà dans le monde entier. Les avantages qu'on pouvait lui prédire lors de sa conception et des premiers essais ont toujours été confirmés ; l'usage en a fait apparaître un autre, à l'occasion du traitement d'eaux à turbidité variable.

En effet, on sait que les plaques inclinées, disposées dans le lit de boues, sont munies de cornières sur leur face inférieure ; ces cornières jouent le rôle de déflecteurs qui entraînent la remise en suspension des boues épaissies qui glissent le long de la plaque suivante : elles provoquent ainsi un brassage des particules, un contact intime entre l'eau qui monte et la boue qui descend, et par suite une excellente floculation ; il en résulte que lorsque l'eau présente une turbidité notable, l'appareil joue le rôle d'un floculateur-décanteur combiné ; en période d'eau relativement claire, il se convertit de lui-même en floculateur et optimise le traitement de filtration directe.

Nous pouvons citer plusieurs installations en FRANCE qui fonctionnent sur ce principe (Hugueneuve, Montbéliard, Razac, etc.). Aux Etats-Unis, un exploitant a même publié un article sur cette utilisation du Superpulsator en eaux peu turbides, ce qui lui a permis en même temps de presque doubler la capacité de production de l'installation (24) ; cette solution peut aussi présenter un intérêt supplémentaire dans le cas où on recycle les eaux de lavage des filtres : mais un polyélectrolyte est alors absolument nécessaire.

La seule difficulté susceptible de se présenter dans ce cas réside dans le passage du mode d'exploitation en décantation-filtration pour les eaux turbides à celui qui est basé sur une floculation-filtration pour les eaux relativement claires (les limites entre ces deux domaines ont été définies au Chap.I, § 1.1.), car le lit de boues peut alors présenter une mauvaise tenue : mais on peut prévoir un by-pass pour continuer à alimenter la filtration pendant qu'on vidange environ la moitié du volume du décanteur afin d'envoyer ainsi le lit de boues à l'égout, le diamètre des tuyaux et des vannes de vidange étant calculé pour que cette opération se fasse rapidement ; par exemple, les caractéristiques du Superpulsator de RAZAC sont les suivantes :

Débit : 525 m<sup>3</sup>/h  
Surface totale : 106 m<sup>2</sup>  
Ø vidanges : cloche et canal d'eau brute : 150 mm  
                  décanteur lui-même : 250 mm

### 1.2.- Pulsator lamellaire

Dans ce cas, le lit de boues de l'appareil travaille de la même façon que dans le Pulsator conventionnel, et c'est dans la zone d'eau claire située au-dessus du lit de boues que l'on installe des modules de finition, constitués de plaques ou de tubes (fig.11B) : c'est là que se situe véritablement la partie "décantation" du procédé ; elle est donc séparée de la partie "floculation" qui a lieu dans le lit de boues. L'équirépartition de l'eau brute à la base du décanteur assure en même temps l'équirépartition dans les modules, et le floc passe sans aucune détérioration d'une zone à l'autre ; de plus, le floc qui s'est échappé du lit de boues vers les modules subit un épaissement dans ces derniers : lorsqu'il retombe dans le lit de boues, il est plus dense et ce phénomène permet à un tel appareil de supporter des vitesses ascensionnelles égales, sinon supérieures, à celles que l'on peut admettre dans un Superpulsator.

Ce dispositif présente en outre l'intérêt de permettre la conversion d'un Pulsator classique en Pulsator lamellaire et d'augmenter ainsi sa capacité de production et/ou la qualité de l'eau décantée, indifféremment en eaux chaudes ou en eaux froides ; des expériences intéressantes dans ce sens, effectuées au Canada et en Argentine, ont déjà fait l'objet d'exposés (20).

Plus de 40 appareils de ce type sont déjà en fonctionnement, répartis dans divers pays et plus particulièrement :

- CANADA : plus d'une quinzaine pour des installations dont le débit varie de 500 à 3500 m<sup>3</sup>/h ;
- THAILANDE : Egat-Sud (2 x 50 m<sup>3</sup>/h), Egat-Kanom (50 m<sup>3</sup>/h), MWWA-Nong-Chok (50 m<sup>3</sup>/h), Royal-Orchid-Hotel (2x65 m<sup>3</sup>/h) : l'exemple de ce pays montre que cette technique convient également aux petites et moyennes installations ;
- MEXIQUE : les principales références et performances de ces appareils sont récapitulées dans le tableau n°2, qui montre que dans ce pays le Pulsator lamellaire est utilisé pour traiter des eaux très variées : eaux de retenues eutrophisées, eaux de rivières à turbidité très variable, etc., et même déferrisation des eaux souterraines.



- TABLEAU n° 2 -

Quelques exemples de Pulsator lamellaires au MEXIQUE  
(plaques ou tubes placés au-dessus du lit de boues).

| Lieu         | Nombre de décanteurs | Débit unitaire (m <sup>3</sup> /h) | Vitesse ascensionnelle (m/h) sur la surface totale des appareils | Conditions locales particulières   | Turbidité (ou fer le cas échéant) |                |                 |
|--------------|----------------------|------------------------------------|--|--|-----------------------------------|----------------|-----------------|
|              |                      |                                    |  |  | Eau brute                         | Eau décantée   | Eau filtrée     |
| POZA RICA    | 1                    | 2 520                              | 5,9  | Climat tropical :<br>- Saison des pluies : violentes tornades sur argiles volcaniques<br>- Saison sèche : développements d'algues.                                 | 5 à 2 000 NTU                     | 1 à 8 NTU      | 0,1 à 0,5 NTU   |
| ACAPULCO     | 2                    | 1 800                              | 6  |  | 10 à 3 500 NTU                    | 1 à 10 NTU     | 0,5 à 2,5 NTU   |
| VILLAHERMOSA | 1                    | 1 800                              | 5,9  |  | 10 à 4 000 NTU                    | 1 à 10 NTU     | 0,5 à 4 NTU     |
| CULIACAN     | 3                    | 240                                | 6,85   |  | 5 à 2 000 NTU                     | 1 à 8 NTU      | 0,1 à 0,5 NTU   |
| TIJUANA      | 2                    | 1 800                              | 6  | Climat méditerranéen :<br>- Eaux emmagasinées dans des barrages-réservoirs (en outre, eutrophisation dans la retenue d'ENSENADA : présence de fer et de manganèse. | 5 NTU                             | 0,5 NTU        | 0,1 à 0,2 NTU   |
| ENSENADA     | 1                    | 540                                | 8,45   |  | ≤ 5 NTU                           | 0,5 à 2 NTU    | 0,1 à 0,3 NTU   |
| TECATE       | 1                    | 450                                | 8,85   |  | 5 à 10 NTU                        | 0,5 à 1 NTU    | 0,1 à 0,2 NTU   |
| RIO BRAVO    | 1                    | 1 450                              | 5,05   | Climat continental :<br>- air : 0 à 45°C<br>- eau : 12 à 30°C<br>Eau tirée d'un canal d'irrigation.  | 5 à 1000 NTU                      | 0,8 à 1,5 NTU  | 0,1 à 0,3 NTU   |
| OAXACA       | 2                    | 630                                | 5  | Eau souterraine :<br>Traitement de déferri-sation  | 3 à 8 ppm Fe                      | 0,2 à 1 ppm Fe | 0 à 0,25 ppm Fe |

Qu'il s'agisse du Superpulsator ou du Pulsator lamellaire, cette combinaison de la décantation à lit de boues pulsé avec la décantation lamellaire présente l'intérêt de pouvoir loger une décantation dans un espace restreint tout en assurant la production d'une eau d'excellente qualité. C'est en particulier le facteur qui a guidé le choix de cet appareil dans les réalisations que nous citons plus haut en Thaïlande. Un autre exemple nous en est donné par l'extension de Lagadadi à ADDIS-ABEBA (Ethiopie) : la station existante fournissait 50 000 m<sup>3</sup>/j d'eau traitée avec 2 Pulsator de 393 m<sup>2</sup> de surface unitaire (vitesse ascensionnelle sur le lit de boues : 3,45 m/h) et 6 filtres de 63 m<sup>2</sup> de surface unitaire (v=6m/h). La croissance rapide de la population (exode rural) imposait maintenant d'augmenter la production de cette installation à 150 000 m<sup>3</sup>/j ; mais pour traiter les 100 000 m<sup>3</sup>/j supplémentaires, on ne disposait que de très peu de place, le terrain étant très tourmenté et formé en outre de roche très dure ; d'autre part, la mauvaise aptitude à la floculation de l'eau brute interdisait d'augmenter sensiblement les vitesses ascensionnelles en décantation classique. Des essais de décantation lamellaire ont alors été effectués sur les décanteurs existants : les résultats (voir tableau n°3) ont montré que l'adjonction de modules au-dessus du lit de boues permettait de donner à la vitesse ascensionnelle une augmentation de 50 à 100%. C'est pourquoi on a choisi pour l'extension, en cours de réalisation, 2 Pulsator lamellaires de 519 m<sup>2</sup> de surface unitaire (vitesse ascensionnelle sur le lit de boues : 5,2 m/h) et 10 filtres de 63 m<sup>2</sup> de surface unitaire ; l'ancienne batterie de 6 filtres et la nouvelle batterie de 10 filtres étant réunies, on disposera désormais de 16 filtres fonctionnant à une vitesse de 6,5 m/h environ. L'implantation de ces divers appareils est représentée sur la fig.12, où sont reportés également les mouvements de terrains : il apparaît clairement que l'augmentation de vitesse de passage dans les appareils, rendue possible par l'amélioration de la technologie, a permis de résoudre un difficile problème de manque de place.

## 2. Filtration

Nous avons déjà eu l'occasion de présenter le filtre AQUAZUR-V (21)(22)(23) à forte hauteur d'eau au-dessus du sable (de l'ordre de 1,2m pour les modèles à niveau constant). Nous rappellerons seulement que ce type de filtre est particulièrement adapté au traitement des eaux tropicales :

- celles-ci sont souvent sursaturées en oxygène dissous à cause des développements d'algues : la constitution d'une tranche d'eau de forte hauteur au-dessus du sable assure, à l'intérieur de ce dernier, une pression suffisante pour empêcher des dégazages qui introduiraient une perte de charge artificielle dans le cycle de filtration et conduiraient à des lavages trop rapprochés ;
- le lavage hydropneumatique (de même que dans le filtre Aquazur-T), à l'air et à l'eau simultanément, complété par le balayage de surface, assure un nettoyage complet du sable et en élimine en particulier les formes vivantes qui pourraient s'y développer (algues, Nématodes, Crustacés, etc.) en même temps que les mud-balls que l'on constate d'ordinaire dans les filtres lavés à l'eau seule (ou à l'air et à l'eau séparément).
- la vitesse admissible peut être élevée (jusqu'à plus de 20 m/h).

La fig.13 résume le comportement de ce type de filtre en phase de filtration et en phase de lavage. Rappelons encore que le filtre Aquazur V est en général conçu pour fonctionner à niveau et débit constants. La régulation se faisait

- TABLEAU n° 3 -

Addis-Abeba

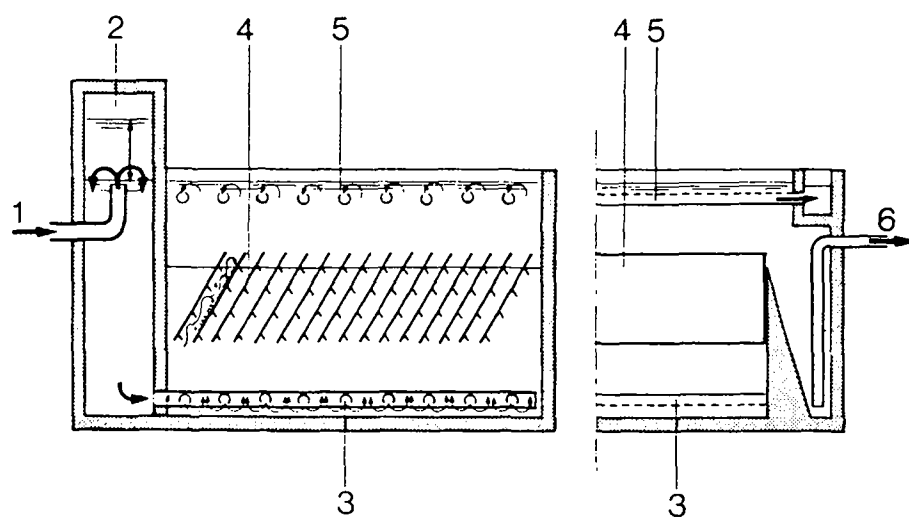
Essais de décantation lamellaire  
avec des modules placés dans des Pulsator conventionnels

Vitesse ascensionnelle dans les Pulsator :

- dans le lit de boues : 3,4 m/h
- au-dessus du lit de boues : 3 m/h

| Turbidité :   | Pulsator conventionnel | Modules lamellaires, à plaques ou à tubes, placés au-dessus du lit de boues |
|---|------------------------|---|
| Vitesse ascensionnelle dans les zones de décantation: |                        |   |
| 3 m/h   | 3 à 4,5 NTU            | 1,5 à 2,1 NTU   |
| 5 m/h   | 5 à 7,3 NTU            | 2,1 à 3,2 NTU   |
| 7 m/h   | -                      | 2,8 à 3,9 NTU   |

Fig. 11 A - DÉCANTEUR SUPERPULSATOR



- 1. Arrivée d'eau brute
- 2. Cloche à vide
- 3. Tubes perforés de répartition
- 4. Plaques

- 5. Tubes perforés de départ d'eau décantée
- 6. Extraction des boues

Fig. 11 B - DÉCANTEUR PULSATOR LAMELLAIRE

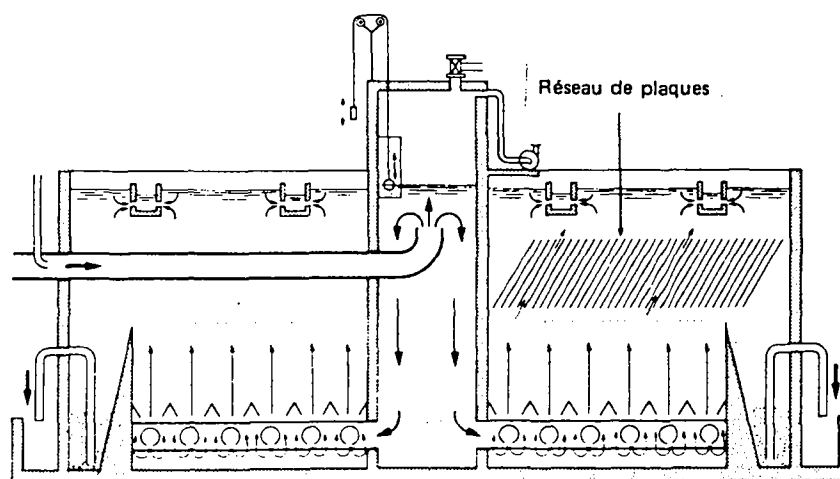
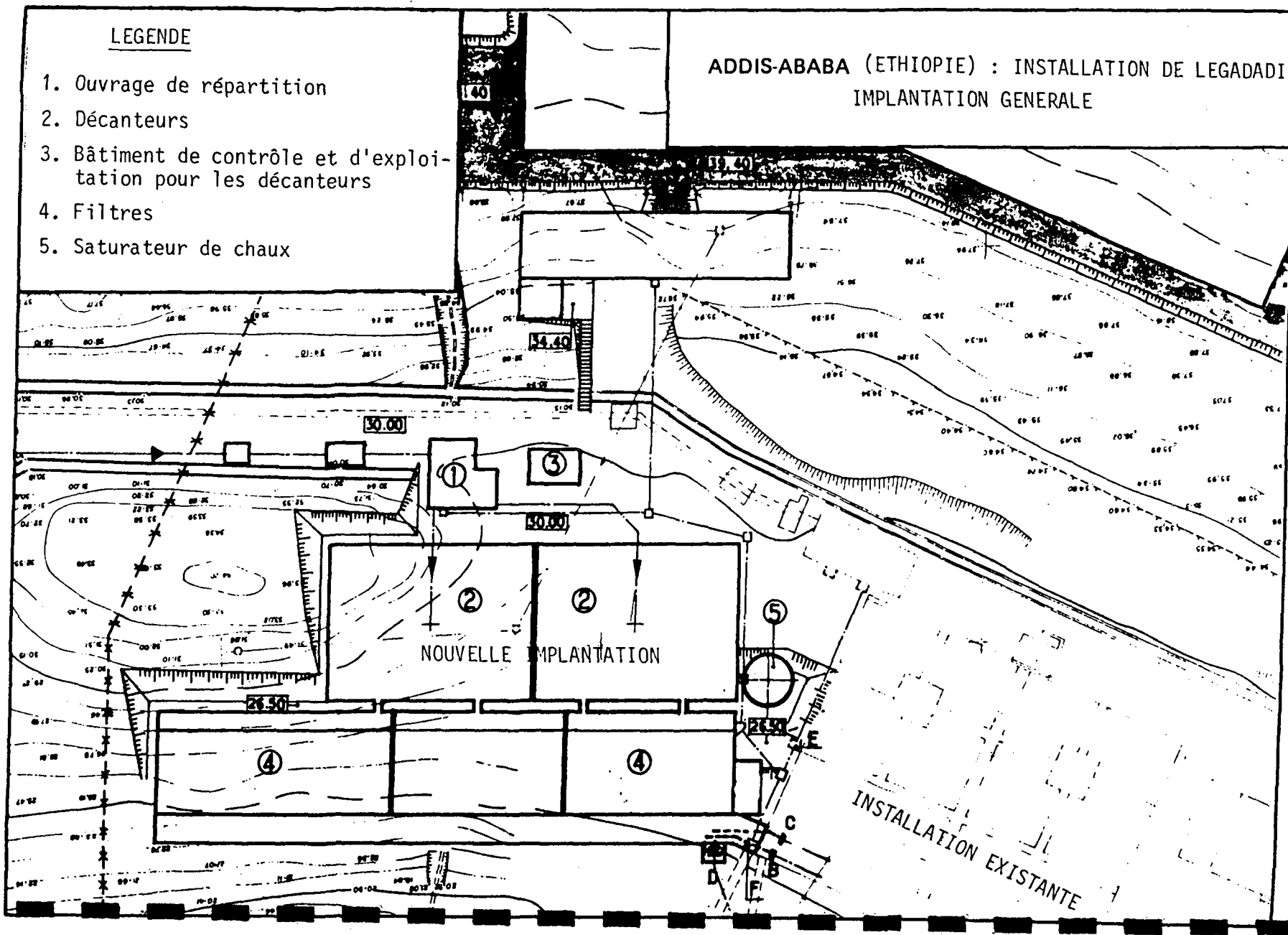
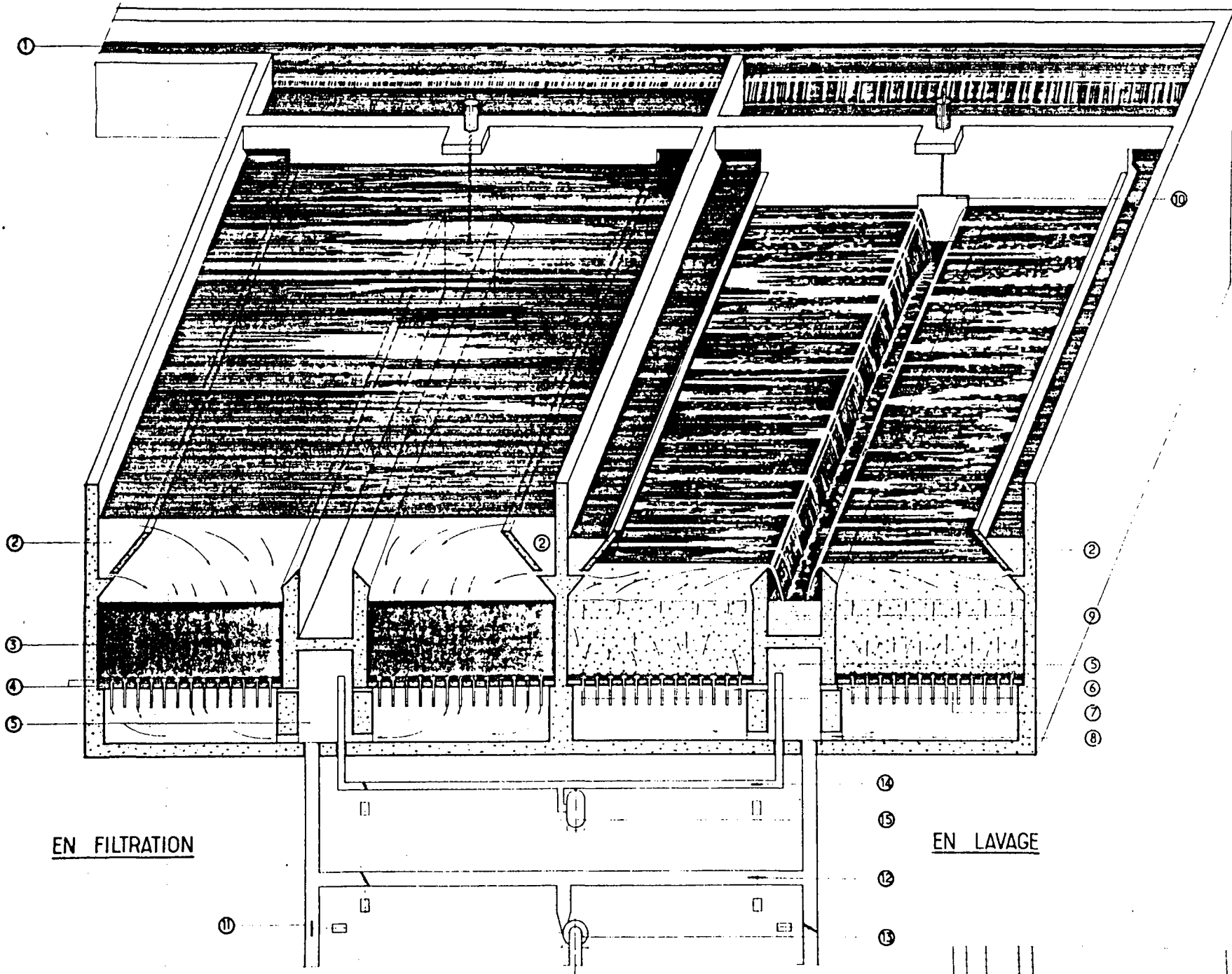


Fig. 12





- ① CANAL D'AMENÉE D'ÉL. A FILTRER
- ② GOUIOTES D'EAU A FILTRER ET DE BAL
- ③ LIT FILTRANT
- ④ PLANCHER ET BUSELURES
- ⑤ CANAL DE REPRISE D'EAU FILTRÉE ET DISTRIBUTION EAU ET AIR DE LAVAGE
- ⑥ ORIFICES DE REPARTITION D'AIR DE LAVAGE
- ⑦ MATELAS D'AIR
- ⑧ ORIFICES DE REPARTITION D'EAU DE LAVAGE
- ⑨ CANAL D'ÉVACUATION DES EAUX DE LAVAGE
- ⑩ VANNE D'ÉVACUATION DES EAUX DE LAVAGE
- ⑪ VANNE DE SORTIE D'EAU FILTRÉE
- ⑫ VANNE D'ENTRÉE D'EAU DE LAVAGE
- ⑬ POMPE D'EAU DE LAVAGE
- ⑭ VANNE D'ENTRÉE D'AIR DE LAVAGE
- ⑮ SURPOMPEUR D'AIR

EN FILTRATION

EN LAVAGE

Fig. 13

FILTRE AQUAZUR

traditionnellement par un système purement hydraulique (flotteur-boîte de partialisation-siphon) ; nous avons également développé un système électro-pneumatique d'une haute fiabilité (voir fig.14).

En outre, ce type de filtre peut comporter des variantes, adaptées à certaines conditions locales de matériel disponible, de principe de construction, de mode d'exploitation, etc. Nous allons en citer trois :

- Filtre à débit constant et à niveau variable (constant output, variable level filter), sans système de contrôle de niveau (fig.15) : l'eau à filtrer est répartie entre les filtres par des déversoirs, l'eau filtrée est restituée par un autre déversoir dont la position permet de ne jamais découvrir le sable, et le niveau de l'eau monte à mesure que le filtre se colmate. La simplicité de ce filtre est toutefois contre-balancée par l'augmentation du coût de construction et par un risque de détérioration de la qualité de l'eau filtrée (à cause de la rupture du floc lors de la chute de l'eau alimentant le filtre).

Ex. de réalisation : CATTERALL (UK).

- "Declining-rate Filter" (fig.16).

Ex. de réalisation : installation de BANDHUP pour la ville de BOMBAY (Inde).

- Filtre à lavage gravitaire à partir du canal général d'eau filtrée (fig.17).

Ex. de réalisation : installation de CUTZAMALA pour la ville de MEXICO.

### 3. Développement du traitement à l'ozone

#### 3.1.- Effets bénéfiques de l'ozone dans le traitement de l'eau

##### 3.1.1.- Généralités- Modalités d'application en climat tropical

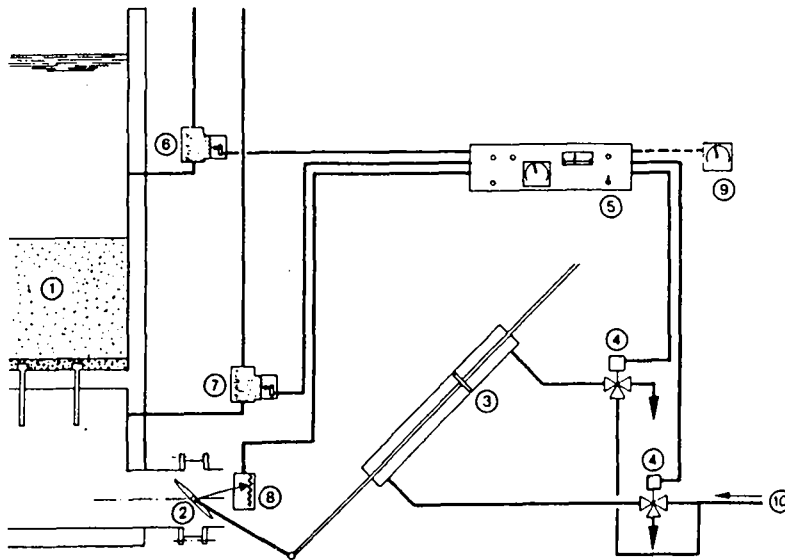
D'abord connu pour ses propriétés bactéricides, décolorantes et désodorisantes, l'ozone a révélé ensuite progressivement ses autres possibilités : élimination des virus, action sur les micropolluants organiques, oxydation de métaux dissous (fer et manganèse), pouvoir coagulant (dans certaines conditions), facteur de reviviscence bactérienne utile pour un stade de filtration ultérieure, etc. C'est pourquoi il a déjà reçu, depuis la fin du siècle dernier, des applications très diverses : en 1978, on recensait dans le monde plus d'un millier d'installations de traitement d'eau potable utilisant l'ozone, dont 57% en France.

Le cadre de cet exposé ne permet pas d'envisager toutes les applications possibles de l'ozone, telles que le traitement des eaux souterraines, le couplage du traitement à l'ozone avec une filtration sur charbon actif en grains, pour constituer un "charbon actif biologique", etc. Nous nous contenterons d'évoquer l'insertion d'un traitement complémentaire à l'ozone dans une filière conventionnelle de traitement d'eau de surface, en examinant plus particulièrement les résultats obtenus sur des eaux de type tropical, le cas échéant.

En effet, un climat tropical pose quelques problèmes supplémentaires pour ce type de procédé : la température élevée de l'eau entraîne une diminution de production de l'appareil lorsque celui-ci est refroidi par l'eau de

SCHEMA DE REGULATION ELECTRONIQUE D'UN FILTRE.

Fig. 14



1. Lit filtrant
2. Vanne de sortie d'eau filtrée
3. Vérin de commande de la vanne
4. Electrovanne de commande du fluide alimentant le vérin
5. Régulateur DEGREMONT
6. Capteur de pression mesurant le niveau du filtre
7. Capteur de pression sous le plancher
8. Potentiomètre placé sur l'axe de la vanne
9. Indicateur éventuel de colmatage
10. Alimentation en fluide de commande du vérin.



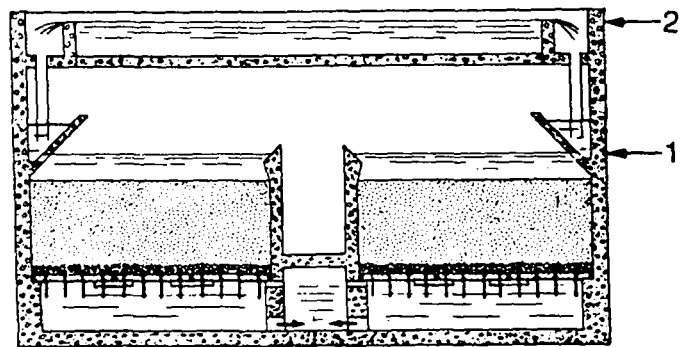


Fig. 15 : FILTRE AQUAZUR type V à encrassement  
 1. Niveau minimum  
 2. Niveau maximum filtre encrassé

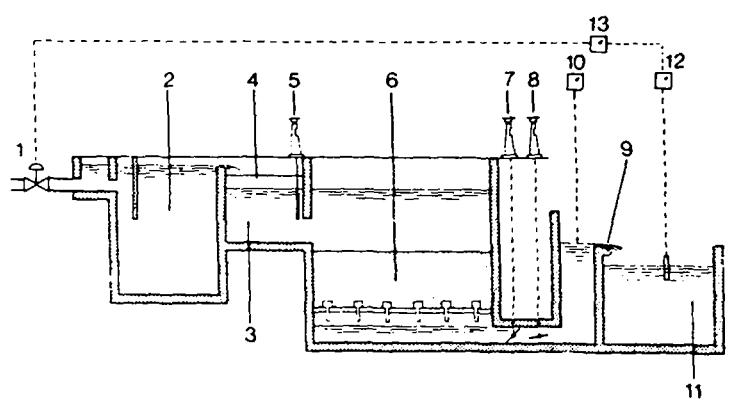
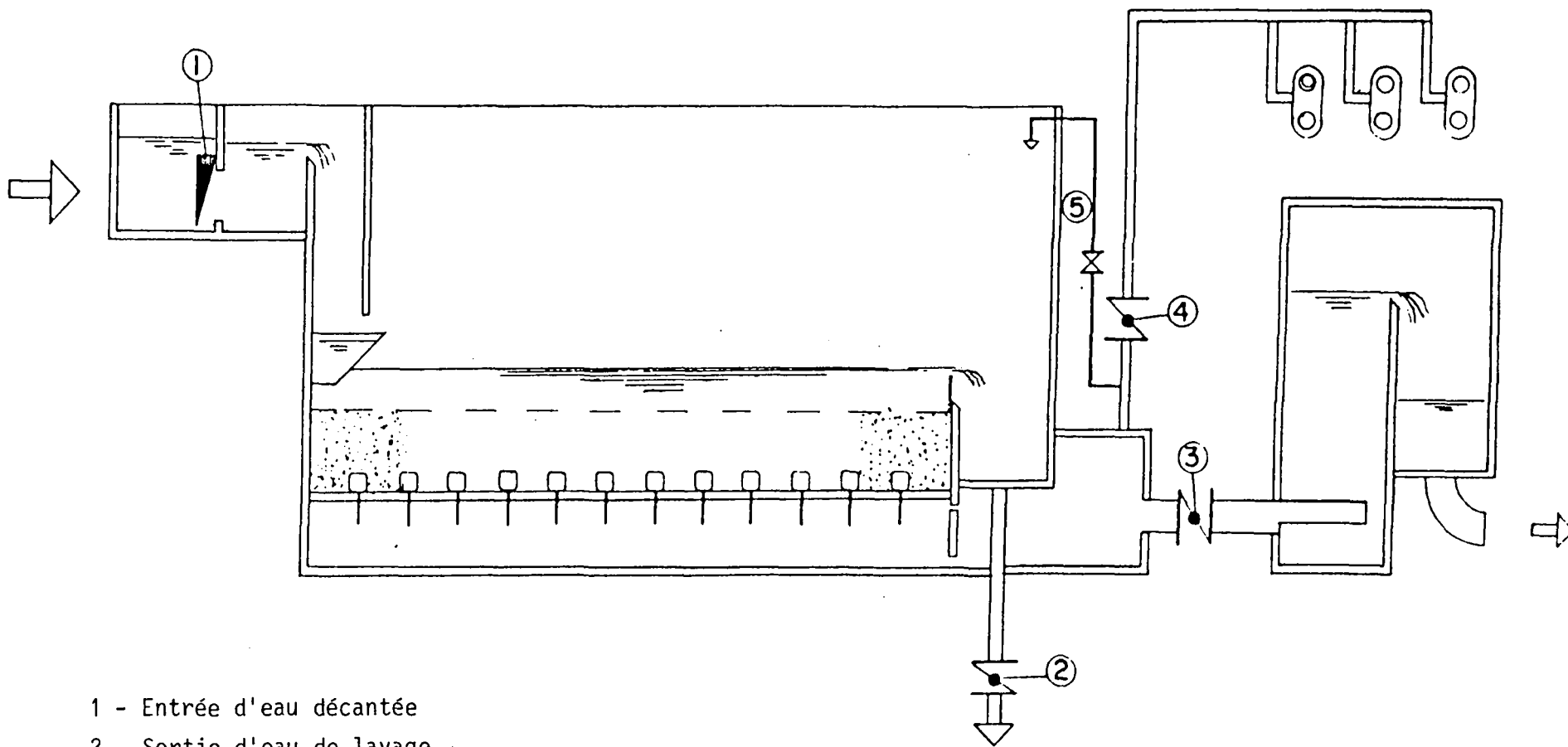


Fig.16 : SCHEMA D'UNE COMMANDE GENERALE PAR L'AVAL  
 AVEC FILTRES A DEBIT DECROISSANT.

- |  |  |
|--|--|
| 1. Vanne d'entrée d'eau brute          | 8. Vanne de réglage de la perte de charge auxiliaire |
| 2. Décanteur                           | 9. Déversoir de sortie individuelle des filtres      |
| 3. Goulotte d'alimentation des filtres | 10. Débitmètre individuel                            |
| 4. Déversoir de trop-plein             | 11. Citerne générale d'eau traitée                   |
| 5. Vanne d'entrée                      | 12. Mesure de niveau dans la citerne                 |
| 6. Filtre à débit croissant            | 13. Régulateur de débit d'eau brute.                 |
| 7. Vanne de sortie d'eau filtrée       |  |



- 1 - Entrée d'eau décantée
- 2 - Sortie d'eau de lavage
- 3 - Sortie d'eau filtrée et entrée d'eau de lavage
- 4 - Entrée d'air pour le soufflage
- 5 - Event

Fig. 17 : FILTRE AQUAZUR V SANS POMPE D'EAU DE LAVAGE.

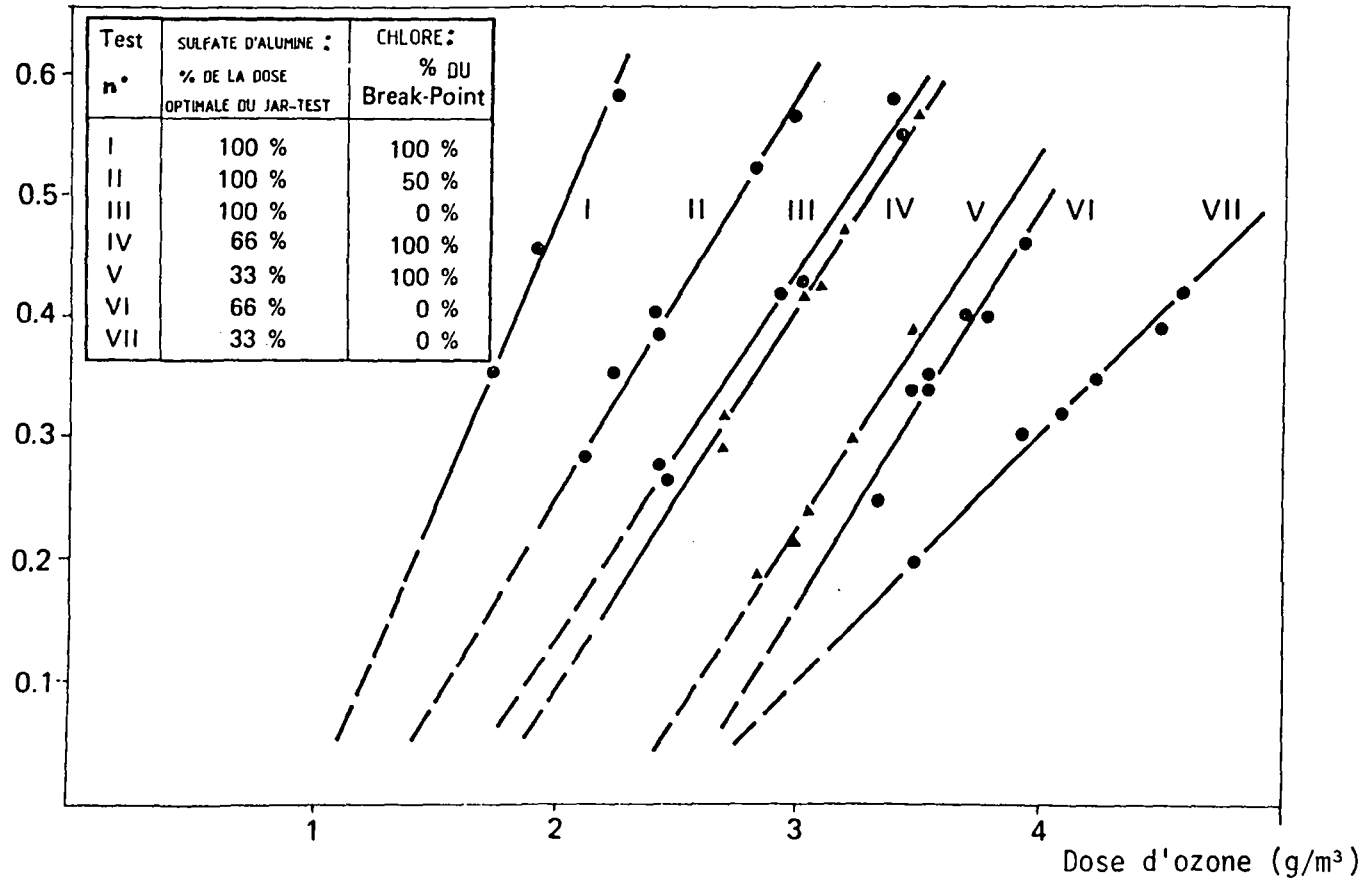
l'installation sans groupe réfrigérant complémentaire, et elle provoque d'autre part une destruction plus rapide de l'ozone dissous dans l'eau. Pour mieux connaître les performances d'une ozonation sur une eau chaude, nous avons alors effectué des essais sur installation-pilote à BANGKOK (Thaïlande) et, dans une moindre mesure, à SEOUL (Corée), à Singapour, en Australie, au Nigéria, etc.

Ces essais nous ont en particulier permis de chiffrer un ordre de grandeur de la baisse de production d'un ozoneur lorsque la température de l'eau de refroidissement augmente : de l'ordre de 10% lorsque cette température passe de 15-20°C à 30°C. Ils nous ont également permis de fixer les paramètres optimaux d'utilisation de l'ozone dans ces conditions :

- Concentration de l'air ozoné : la dissolution de l'ozone dans l'eau doit être assez rapide pour que sa décomposition (favorisée par la température élevée) n'ait pas le temps d'intervenir de façon significative ; or, cette rapidité de dissolution augmente avec la concentration de l'air ozoné issu de l'appareil de production ; mais d'autre part, le débit d'air doit être suffisant pour assurer une densité de bulles favorable à un bon transfert de l'ozone de l'air dans l'eau ; le meilleur compromis entre ces 2 impératifs se situe dans une plage de concentration de 15 à 18 mg O<sub>3</sub> par litre d'air.
- Temps de contact entre air ozoné et eau : les essais de Bangkok ont fait ressortir un temps optimal de 6 à 8 minutes pour l'élimination des principaux paramètres gênants : couleur, matières organiques, détergents, etc. Au-delà, la destruction rapide de l'ozone augmente fortement la consommation d'ozone nécessaire pour retrouver un résiduel à la sortie de la tour de contact, sans amélioration supplémentaire de la qualité de l'eau traitée.
- Influence du traitement préliminaire sur la demande en ozone : pour une ozonation placée en fin de traitement, la dose à introduire dépend fortement de la façon dont la clarification antérieure a été conduite, comme nous l'avons constaté au cours des essais réalisés à Bangkok : la fig.18 montre les teneurs résiduelles en O<sub>3</sub> observées, en fonction de la dose introduite, pour différentes conditions de préchloration et de coagulation pratiquées en amont ; dans ce cas, si on veut maintenir une teneur résiduelle en O<sub>3</sub> de 0,4 mg/l (valeur usuelle pour la désinfection) à la sortie de la tour de contact, la fig. n°18 nous permet de déduire les taux de traitement à appliquer en fonction du traitement en clarification : le tableau n°4 récapitule ces différents résultats et montre qu'une utilisation économique de l'ozone implique que le traitement antérieur ait été effectué dans de bonnes conditions, principe également illustré par la fig.19.
- Influence du pH : de même que pour la température, une augmentation du pH entraîne une destruction plus rapide de l'ozone résiduel. Ce phénomène, déjà bien connu en climat tempéré, a été confirmé sur les eaux chaudes des pays tropicaux. Ainsi à Bangkok, la demande en ozone était de 3,6 g/m<sup>3</sup> sur une eau filtrée dont le pH de 7,55 correspondait aux conditions de la coagulation-floculation ; en élevant le pH à 7,95 (pH de saturation), cette demande en ozone passait à 4,1 g/m<sup>3</sup>, soit une augmentation de 14% sans amélioration de la qualité de l'eau traitée. La fig.20 montre par ailleurs l'ensemble des résultats obtenus dans ce domaine au cours d'essais effectués à Singapour. Toutes ces observations conduisent à conseiller de pratiquer l'ozonation à un pH aussi bas que possible et, en tout cas, à ne régler le pH final de l'eau aux conditions d'équilibre calco-carbonique (lutte contre la corrosion) qu'après le traitement à l'ozone.

$O_3$  résiduel  
(mg/l)

Fig. 18 : INFLUENCE DES TAUX DE TRAITEMENT EN SULFATE D'ALUMINE ET EN CHLORE SUR LA DEMANDE EN OZONE DE L'EAU FILTREE  
(Temps de contact : 8 min ; pH : 7,55)



- TABLEAU n° 4 -

Etude du traitement à l'ozone à BANGKOK (Thaïlande):  
Influence des taux de traitement appliqués en décantation  
sur la demande en ozone de l'eau filtrée  
(pour obtenir 0,4 mg/l d'ozone résiduel après traitement).

| Essai n° | Taux de traitement appliqués en décantation                      |                         | Dose d'ozone mg O <sub>3</sub> /l | Augmentation de la demande en O <sub>3</sub> (%) |
|----------|--|-------------------------|-----------------------------------|--|
|          | Sulfate d'alumine : % de la dose optimale déterminée au jar-test | Chlore % du Break-Point |                                   |  |
| I        | 100%   | 100%                    | 1,8                               | -  |
| II       | 100%   | 50%                     | 2,45                              | 36%  |
| III      | 100%   | 0%                      | 2,9                               | 61%  |
| IV       | 66%  | 100%                    | 3,0                               | 67%  |
| V        | 33%  | 100%                    | 3,5                               | 94%  |
| VI       | 66%  | 0%                      | 3,7                               | 106%   |
| VII      | 33%  | 0%                      | 4,5                               | 150%   |

Fig. 19

BANGKOK : Tests O<sub>3</sub>

Influence des taux de traitement appliqués en décantation sur la demande en O<sub>3</sub> de l'eau filtrée

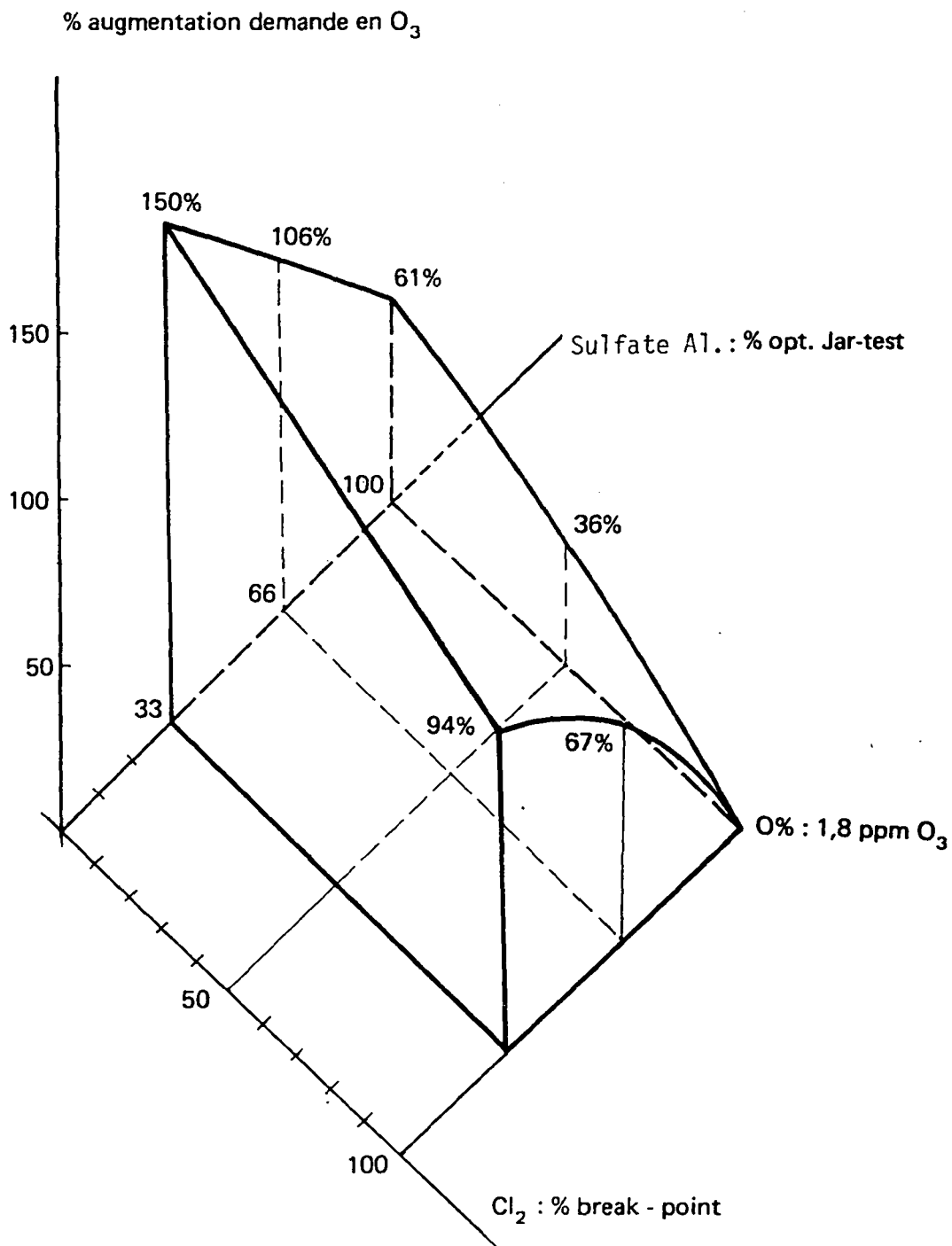
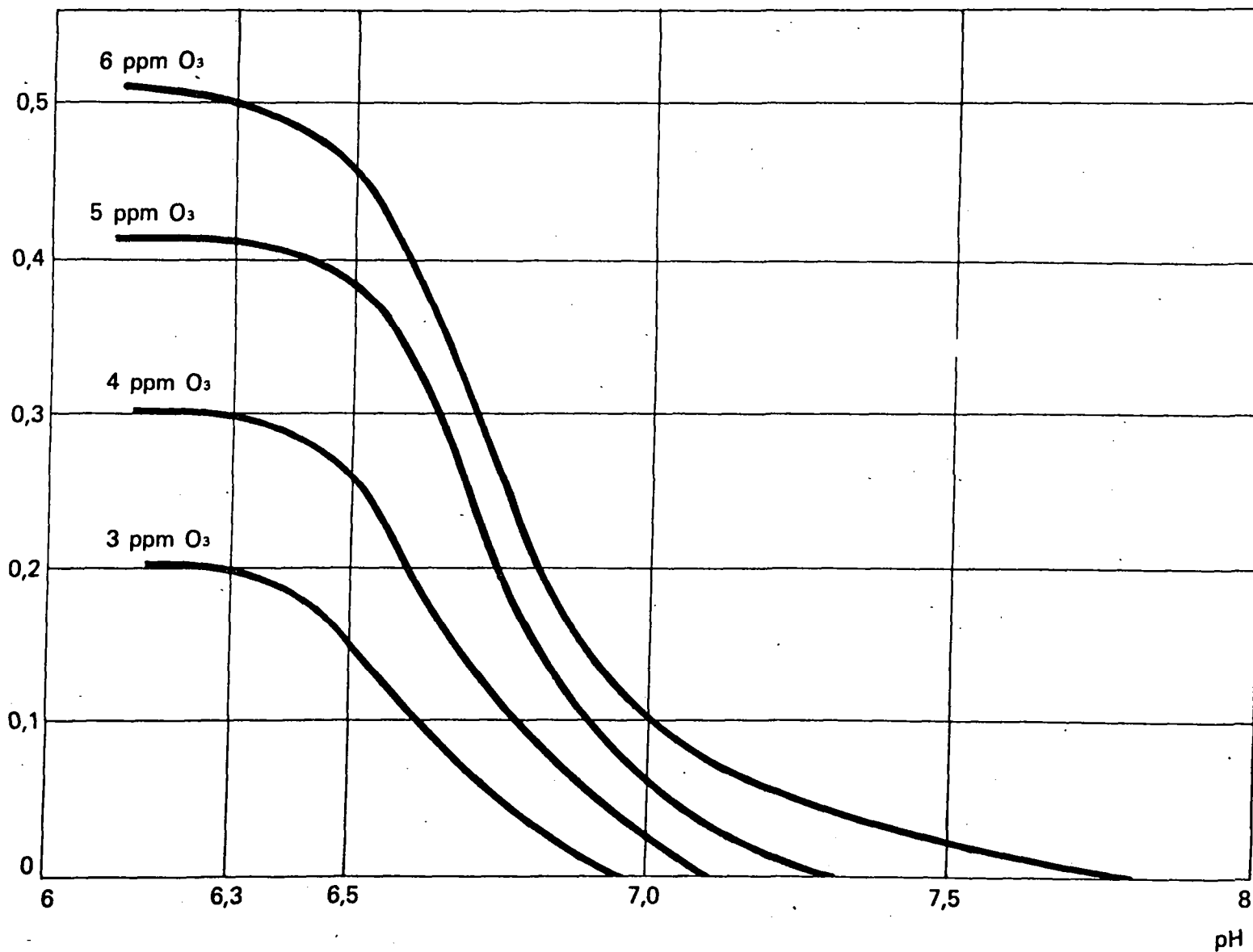


Fig. 20 : INSTALLATION DE CHAO-CHU-KANG (Singapour)  
INFLUENCE DU pH SUR LA TENEUR EN OZONE RESIDUEL  
POUR DIFFERENTS TAUX DE TRAITEMENT.

O<sub>3</sub> résiduel (mg/l)



Enfin, il faut rappeler que le traitement à l'ozone ne saurait éviter une chloration finale, car l'ozone ne laisse pas subsister de désinfectant résiduel dans l'eau ; la rapidité réelle de disparition de l'ozone dépend du pH, de la température, etc. Sur la fig.21, nous avons rassemblé les résultats correspondant à des conditions moyennes : on peut voir que pour les teneurs résiduelles obtenues dans la pratique à la sortie des tours de contact (0,4 à 0,6 g/m<sup>3</sup> au maximum), la disparition totale du désinfectant aura lieu après 10 à 20 minutes. Pour protéger le réseau de distribution contre toute multiplication ultérieure de bactéries banales ou toute contamination secondaire, il faut donc rajouter du chlore de façon à laisser subsister au moins des traces de chlore résiduel aux points de distribution les plus éloignés.

### 3.1.2.- Effets de l'ozone dans les eaux filtrées

3.1.2.1.- Désinfection : il y a près de 100 ans, on savait déjà que l'ozone pouvait détruire les bactéries de la typhoïde et du choléra. Son action virulicide est d'autre part connue depuis plus de 50 ans, mais ce n'est qu'il y a une vingtaine d'années qu'ont été définies avec précision les conditions dans lesquelles l'ozonation devait être appliquée pour inactiver totalement les virus hydriques, en particulier celui de la poliomyélite : 0,4 mg/l d'ozone résiduel pendant 4 minutes (25), règle qui reste toujours valable actuellement pour l'ensemble des virus et des bactéries pathogènes. C'est pourquoi nous utilisons habituellement des tours de contact à 2 compartiments : dans le premier, on satisfait la demande chimique en ozone de l'eau jusqu'à obtenir 0,4 mg/l de résiduel à la sortie ; dans le 2ème compartiment, on maintient ce taux résiduel pendant 4 minutes en introduisant la quantité d'ozone juste nécessaire pour compenser celle qui s'auto-détruit dans l'eau pendant ce temps de contact.

Bien entendu, ces conditions virulicides assurent en même temps une stérilisation pratiquement complète de l'eau sur le plan bactérien. Ce point a été confirmé à Bangkok au cours des essais effectués en installation-pilote :

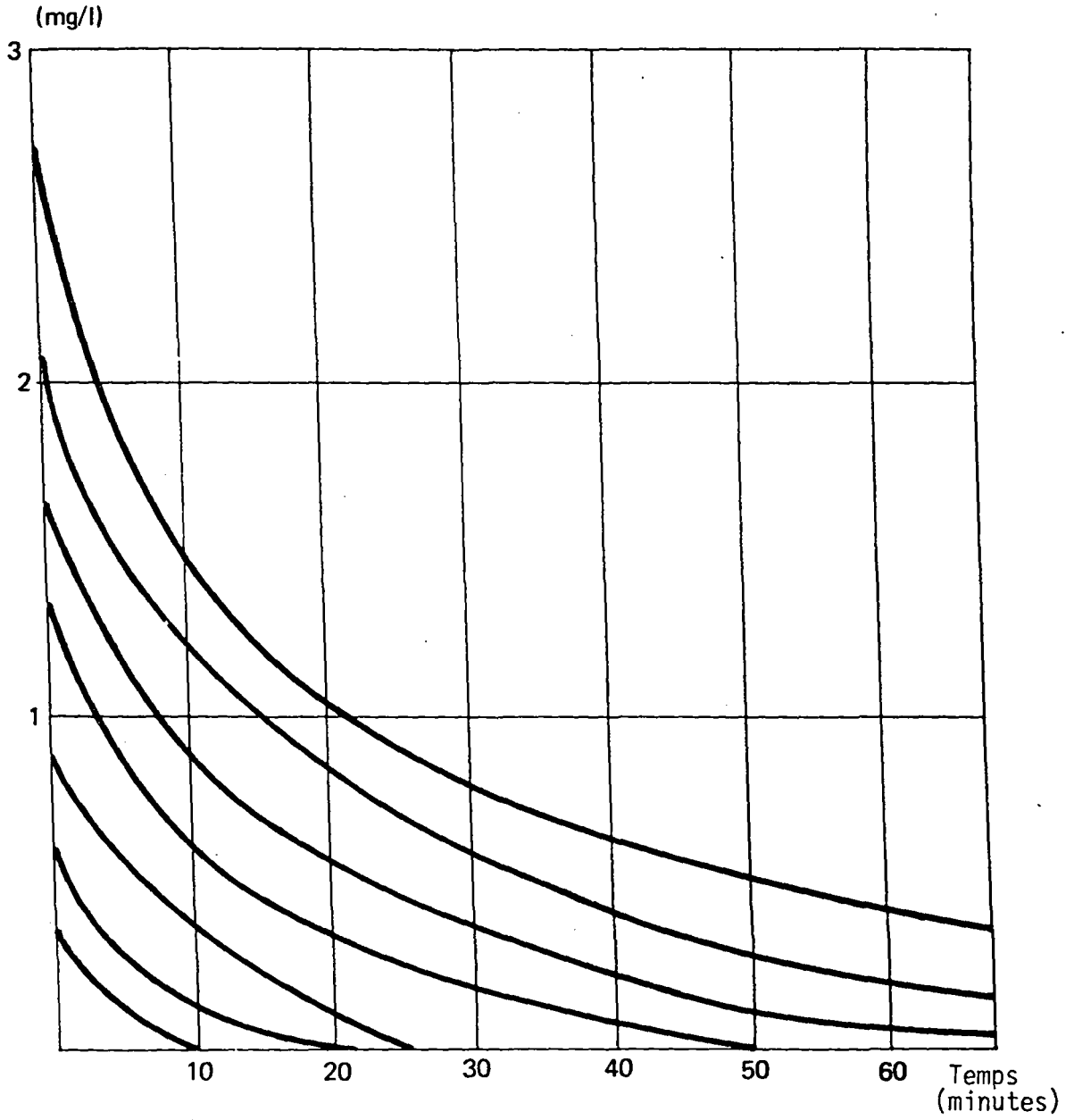
| Germes totaux (par ml) | Eau filtrée | Eau ozonée |
|------------------------|-------------|------------|
| Avec préchloration     | 3-35        | 0-1        |
| Sans préchloration     | 65-350      | 0-1        |

3.1.2.2.- Paramètres globaux (goûts, odeurs, couleur, matières organiques, etc.) : tous sont améliorés par l'ozonation ; ce traitement élimine ou atténue la plupart des goûts et odeurs désagréables (sauf quand il s'agit de composés organiques saturés, sans double liaison, que seul un traitement au charbon actif permet de retenir: c'est le cas par exemple des métabolites d'algues ou d'Actinomycètes (26), comme la géosmine ou le 2-méthyl-isobornéol) ; d'autre part, il décolore complètement la plupart des eaux (sauf si celles-ci contiennent des éléments tels que le fer ou le manganèse, qu'il faut donc éliminer au préalable) et apporte souvent une réduction complémentaire



Fig. 21 : EVOLUTION DE L'OZONE RESIDUEL EN FONCTION DU TEMPS.

O<sub>3</sub> résiduel



appréciable des matières organiques par rapport à la clarification.

Ainsi, si nous revenons une nouvelle fois aux essais effectués à Bangkok, nous y avons constaté :

- une décoloration totale de l'eau, qui présentait encore 5° Hazen de couleur à la sortie des filtres ;
- une absence totale de goûts et d'odeurs dans l'eau ozonée ;
- une réduction supplémentaire de 30 à 40% des matières organiques (mesurées par l'oxydabilité au  $\text{KMnO}_4$ ) par rapport à leur teneur dans l'eau filtrée après application des doses optimales de chlore et de sulfate d'alumine.

D'autres essais, effectués à SINGAPOUR, ont donné les résultats exposés dans le tableau n°5.

Du reste, on constate souvent qu'il n'est pas nécessaire d'atteindre les conditions virulicides évoquées plus haut (0,4 mg/l pendant 4 minutes) pour obtenir ces derniers résultats ; nous en citerons quelques exemples ci-après :

- au NIGERIA : sur l'eau de l'OWO River à LAGOS, l'ozone résiduel n'apparaît que pour un taux de traitement supérieur à 5 g/m<sup>3</sup>, alors qu'il a suffi de 2 g/m<sup>3</sup> pour obtenir déjà une eau de qualité satisfaisante et de 3 à 4 g/m<sup>3</sup> pour atteindre l'élimination maximale des matières organiques et, surtout, de la couleur et des mauvais goûts (fig.22) ;
- sur l'eau de la rivière HAN à SEOUL (COREE) : l'élimination des mauvais goûts et des matières organiques commence bien avant l'apparition d'ozone résiduel, comme on peut le voir sur la fig.23 qui nous montre aussi que dans ce cas, l'amélioration apportée par l'ozone sur l'élimination des matières organiques est surtout sensible sur une eau relativement polluée ;
- en AUSTRALIE, les essais effectués sur l'eau décantée de l'installation d'ADVANCETOWN qui traite l'eau du HINZE Dam ont donné les résultats résumés dans le tableau suivant :

|                                    |      |      |     |      |
|------------------------------------|------|------|-----|------|
| Dose d'ozone (g/m <sup>3</sup> )   | 0    | 1,1  | 1,8 | 2,35 |
| Ozone résiduel (g/m <sup>3</sup> ) | -    | 0    | 0   | 0,3  |
| Eau traitée :                      |      |      |     |      |
| - turbidité (NTU)                  | 0,23 | 0,23 | 0,2 | 0,18 |
| - couleur (°Hazen)                 | 3    | 2    | 1,5 | 1,5  |
| - seuil de dégustation             | 5    | 3,5  | 2,5 | 1,5  |

3.1.2.3.- Micropolluants organiques : les développements de la chimie analytique ont en outre permis de préciser l'effet bénéfique de l'ozone sur la plupart de ces corps, par exemple :

...

- Détergents : suivant leur nature et leur concentration initiale dans l'eau, l'ozone permet leur élimination soit totale (comme nous l'avons vu plus haut dans le tableau n°5, relatif à des observations effectuées à Singapour), soit partielle. Dans les essais que nous avons effectués à Bangkok, l'eau brute contenait 0,35 mg/l de détergents exprimés en TPBS ; cette teneur a été ensuite artificiellement portée à 1,35 puis 1,65 mg/l ; l'ensemble des résultats des essais est porté sur le tableau n°6, où l'on voit en particulier que :
  - \* le pourcentage d'élimination des détergents par la clarification n'est, dans ce cas précis, que de 20 à 30% au maximum ;
  - \* il faut environ 5 mg d'ozone par mg de détergent pour atteindre 70% d'élimination.
- Cyanures : l'ozone est très efficace sur les cyanures, même à faible dose : il se forme des cyanates, qui sont mille fois moins toxiques.
- Pesticides : l'ozone détruit partiellement la plupart des pesticides organochlorés (environ 50% d'élimination) : lindane, dieldrine, DDT, etc, et totalement les pesticides organophosphorés. Dans le cas d'un organo-phosphoré comme le parathion, il se forme d'abord un métabolite plus toxique que le produit initial, le paraoxon: il faut alors poursuivre le traitement pour assurer également sa dégradation complète.
- Phénols : dans ce cas également, il se forme des produits intermédiaires de dégradation dont certains sont toxiques (catéchol, o-quinone, parabenzoquinone, etc.) et le traitement doit être poussé jusqu'à obtention d'une quantité notable d'ozone résiduel pour qu'ils soient détruits à leur tour.

En ce qui concerne les micropolluants organiques, on constate donc qu'contrairement aux paramètres globaux vus plus haut (goût, odeur, couleur, matières organiques), leur élimination demande des conditions de traitement analogues à celles qui ont été définies plus haut pour l'élimination des virus, en particulier la satisfaction de la demande chimique de l'eau en ozone et la présence de résiduel à la sortie de la tour de contact.

### 3.1.3.- La préozonation

Enfin, il apparaît intéressant dans certains cas d'introduire une légère dose d'ozone dans l'eau brute, nettement inférieure à la demande chimique globale, avant un traitement de clarification. Il en résulte soit une amélioration de la qualité de l'eau filtrée si on ne change pas les dosages des autres réactifs, soit une possibilité de diminuer la dose de coagulant pour maintenir la même qualité d'eau traitée. Sur l'eau de la Seine à PARIS, en particulier, un net effet d'amélioration est obtenu pour un prétraitement à 0,5-1 g/m<sup>3</sup> d'ozone. D'autres essais, effectués sur des eaux très polluées et riches en algues, ont fait apparaître une économie de coagulant qui compensait largement le coût supplémentaire de la préozonation.

Cet effet bénéfique a été retrouvé lors des essais de BANGKOK, où l'injection dans l'eau brute d'une dose d'ozone de 0,2 à 1 g/m<sup>3</sup> a permis d'abaisser la dose de coagulant (sulfate d'alumine) de 40 à 30 g/m<sup>3</sup>, soit une économie de 25%. Toutefois, ce prétraitement n'a pas permis dans ce cas de diminuer la demande finale en ozone de l'eau traitée.

Fig. 23 : RECAPITULATION DES ESSAIS D'OZONATION EFFECTUES SUR L'INSTALLATION DE BOKWANG ( SEOUL, COREE).

matières organiques  
oxydabilité au  $KMnO_4$   
(ppm  $O_2$ )

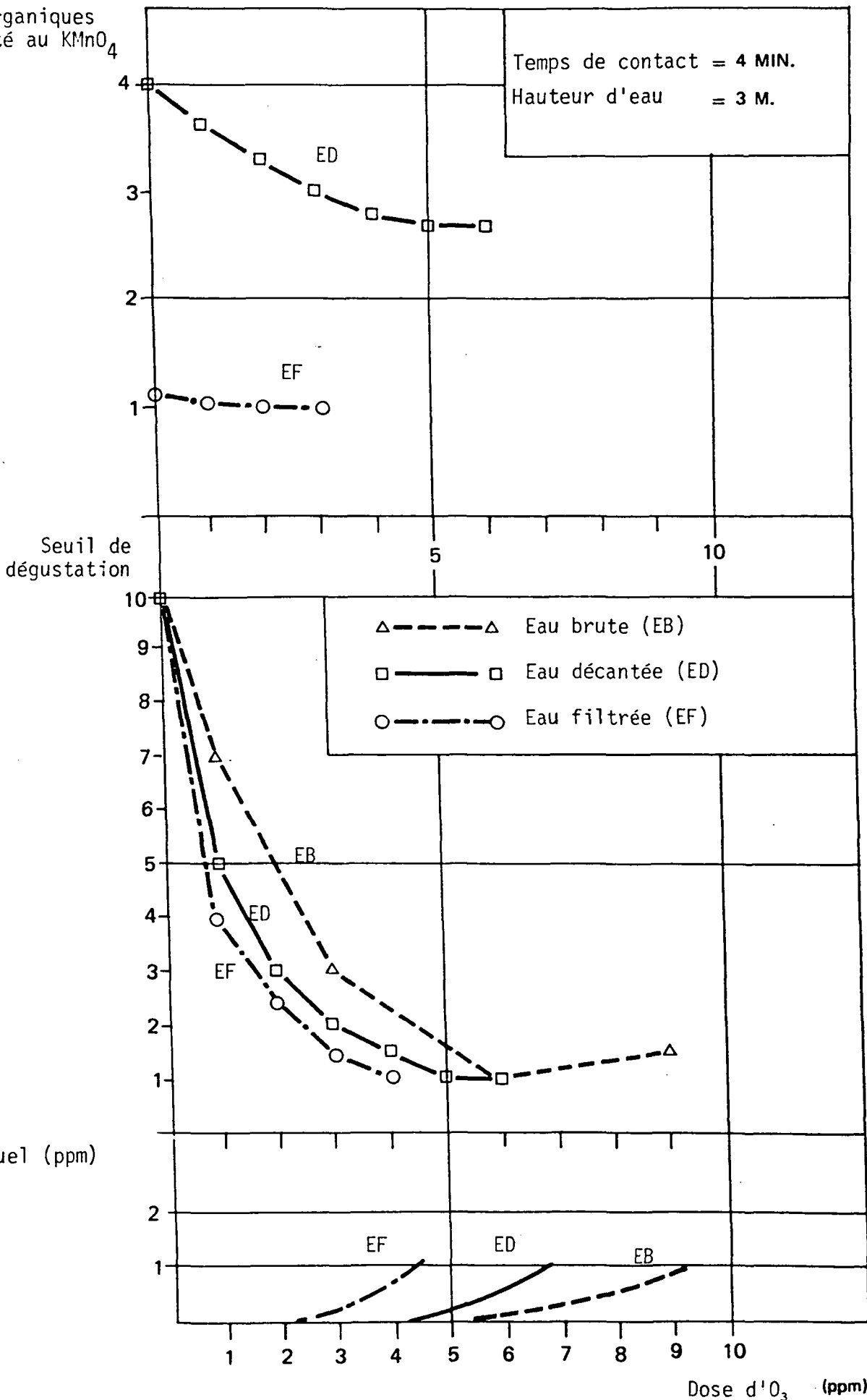
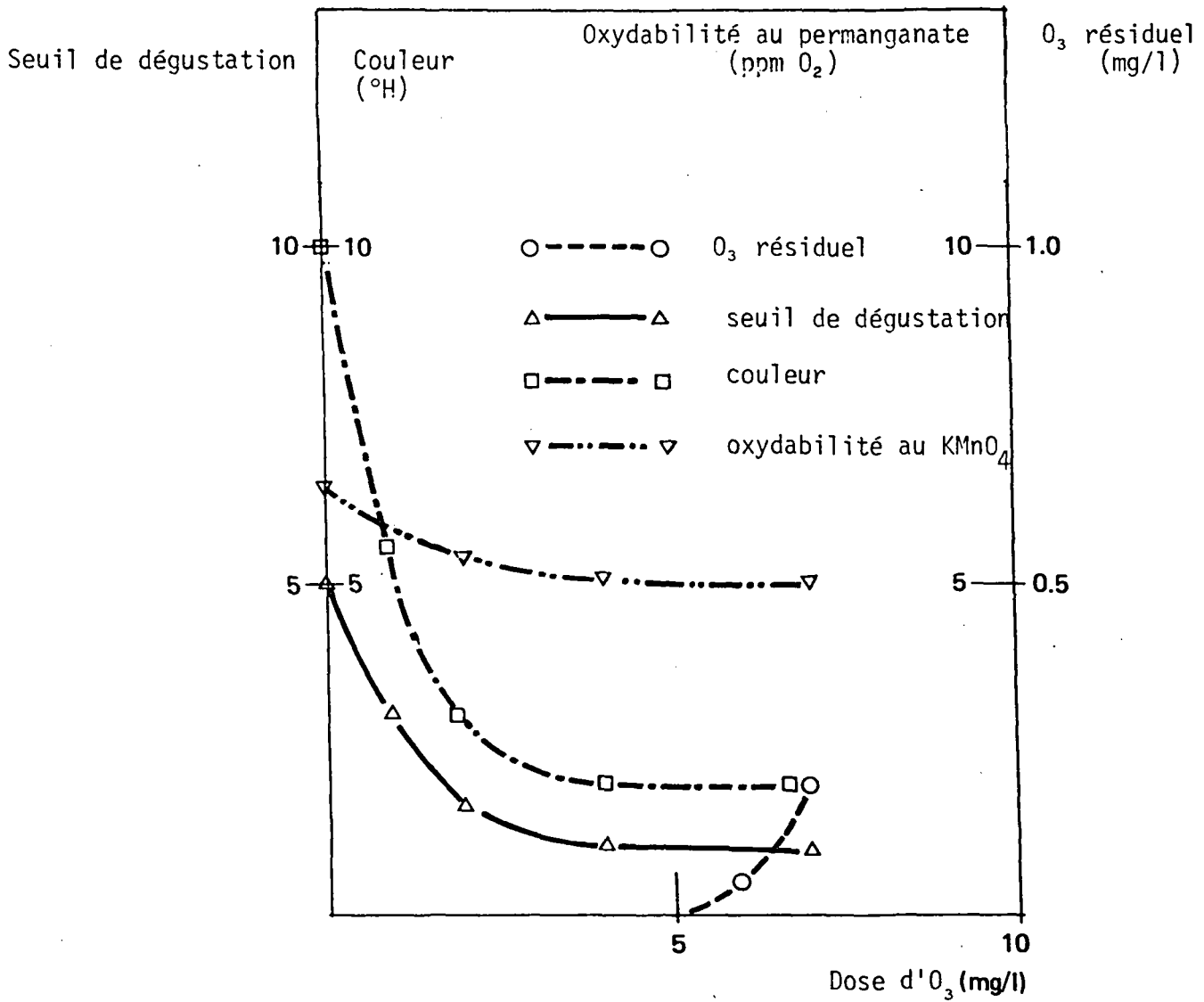


Fig. 22 : LAGOS (NIGERIA), RIVIERE OWO

ESSAI DE TRAITEMENT A L'OZONE

Traitement antérieur (en décantation) :  
3,5 ppm chlore  
12 ppm chaux  
40 ppm sulfate d'alumine  
+ décantation et filtration sur sable



## - TABLEAU n° 5 -

Essai d'ozonation à l'installation de CHAO-CHU-KANG.  
(SINGAPOUR)

| Nature de l'eau  | Filtrée | Ozonée avec :          |                      |
|--|---------|------------------------|----------------------|
|  |         | 2,5 ppm O <sub>3</sub> | 5 ppm O <sub>3</sub> |
| Couleur (° Hazen)  | 8       | 5                      | 3                    |
| Oxydabilité au KMnO <sub>4</sub> (ppm O <sub>2</sub> ) : |         |                        |                      |
| - milieu alcalin   | 4,4     | 4,0                    | 3,4                  |
| - milieu acide   | 5,9     | 4,9                    | 4,6                  |
| Seuil de dégustation                                     | 4       | 3                      | 1                    |
| Détergents (en ppm LAS)                                  | 0,12    | ND*                    | ND*                  |
| O <sub>3</sub> résiduel (mg/l)                           | -       | 0,1                    | 0,3                  |

ND : non décelable.

- TABLEAU n° 6 -

Etude de l'élimination des détergents par traitement à l'ozone (BANGKOK, Thaïlande).

| Détergents, en ppm TPBS, dans les différentes eaux : |             |                      |                    | Pourcentage moyen d'élimination par rapport à l'eau brute |
|--|-------------|----------------------|--------------------|---|
| Eau brute  | Eau filtrée | Eau ozonée           |                    |   |
|  |             | Dose d'ozone         | Détergent résiduel |   |
| 0,35   | 0,25        | 3 ppm O <sub>3</sub> | 0,15               | 60%   |
| 1,35*  | 1,05        | 3 ppm O <sub>3</sub> | 0,8 à 0,85         | 40%   |
|  |             | 4 ppm O <sub>3</sub> | 0,5 à 0,55         | 60%   |
|  |             | 5 ppm O <sub>3</sub> | 0,3 à 0,35         | 75%   |
| 1,65*  | 1,35        | 7 ppm O <sub>3</sub> | 0,5 à 0,7          | 60 - 70%  |

\* En augmentant artificiellement la teneur en détergent de l'eau brute.

Ce type de prétraitement est également intéressant sur les eaux de retenues en état d'eutrophisation qui contiennent du manganèse à l'état dissous, mais la dose d'ozone à introduire est alors en général supérieure : par exemple, on peut voir sur le tableau n°7 les résultats d'un test de préozonation effectué sur une eau provenant de l'hypolimnion réducteur d'une retenue Australienne : après clarification, l'optimum de turbidité est obtenu dès l'injection de 1 ppm O<sub>3</sub>, celui de couleur à 2 ppm O<sub>3</sub>, mais il faut 4 ppm O<sub>3</sub> pour éliminer complètement le manganèse et les mauvais goûts ; toutefois, la demande chimique en ozone de l'eau brute n'est pas encore satisfaite à cette dernière dose, car il n'apparaît toujours pas de résiduel après le traitement de préozonation.

### 3.2.- Exemples de développements technologiques récents en matière de production d'ozone.

#### 3.2.1.- Production en moyenne fréquence

Au fur et à mesure que l'on prenait mieux conscience de la diversité des modes d'action de l'ozone sur les corps chimiques et les organismes vivants indésirables dans l'eau, les installations industrielles se multipliaient et faisaient apparaître de nouvelles contraintes concernant la capacité de production, l'emplacement disponible, la fiabilité et l'économie du procédé, etc. La mise au point de la production en moyenne fréquence en a été l'une des conséquences.

Le principal facteur qui a guidé cette démarche a été la recherche d'un accroissement supplémentaire de la puissance de l'ozoneur ; en travaillant à la fréquence industrielle habituellement disponible de 50 ou 60 Hz, on avait déjà optimisé au maximum les autres paramètres qui peuvent intervenir sur cette puissance : amplitude de la tension d'alimentation, optimisée en plaçant entre les électrodes un matériau possédant une grande rigidité diélectrique, ce qui permettait ainsi de fonctionner à une tension élevée ; augmentation de la capacité électrique de l'appareil en adoptant des diélectriques de mince épaisseur et de grande permittivité ; optimisation des conditions de fonctionnement (température, pression, intervalle d'ionisation), etc. Désormais, le seul facteur sur lequel on pouvait encore jouer pour réaliser un progrès technique important et tendre vers la "puissance massique maximale", était la fréquence, à laquelle la puissance de l'ozoneur est directement proportionnelle.

Cette recherche existait déjà depuis plus de 20 ans, mais les appareils générateurs de la fréquence n'étaient pas au point ; cette technique n'a pu devenir concurrentielle qu'avec l'évolution récente des semi-conducteurs de puissance, aboutissant à la famille des convertisseurs dits "en pont, auto-oscillants et à extinction naturelle" ; ils peuvent être montés en "série" ou en "parallèle" ; c'est le 1er type que nous avons choisi, car il apporte plus de sécurité en cas de défaut sur le circuit : en effet, le convertisseur s'arrête alors purement et simplement, alors que l'autre type de montage entraîne le court-circuit du convertisseur et nécessite un système de protection plus élaboré.

En pratique, la production en moyenne fréquence consiste d'abord à convertir la tension alternative triphasée du réseau en une tension continue au moyen d'un pont redresseur (dit "pont de GRAETZ"), puis à convertir cette tension continue en tension à moyenne fréquence au moyen d'un pont de thyristors.



- TABLEAU n° 7 -

HINZE DAM (AUSTRALIE).  
Essai d'ozonation de l'eau brute  
(en essais de floculation)

| Bécher n°                                   | 1  | 2    | 3    | 4    | 5    |
|---|--|------|------|------|------|
| Dose d'ozone (ppm O <sub>3</sub> )          | 0  | 1    | 2    | 3    | 4    |
| O <sub>3</sub> résiduel (ppm)               | -  | 0    | 0    | 0    | 0    |
| Taux de traitement appliqués en décantation | 20 mg/l chaux<br>50 mg/l sulfate d'alumine<br>0,1 mg/l LT 22 |      |      |      |      |
| Eau décantée 10 min :<br>- Turbidité (NTU)  | 0,72   | 0,41 | 0,43 | 0,40 | 0,41 |
| Eau filtrée (sur papier<br>Whatman n°2) :   |  |      |      |      |      |
| - couleur (° Hazen)                         | 4,5  | 3    | 2,5  | 2,5  | 2,5  |
| - Manganèse (ppm Mn)                        | 1,4  | 1,2  | 0,6  | 0,12 | 0,02 |
| - Seuil de dégustation                      | 7  | 5    | 3    | 1,5  | 1    |

Les principaux paramètres qu'il a fallu alors étudier pour optimiser ce procédé sont les suivants :

- Fréquence : pour tout ozoneur, il existe une "puissance critique" au-delà de laquelle l'auto-destruction de l'ozone produit (causée par l'augmentation de la température du gaz à ioniser) devient prépondérante, et on assiste alors à une baisse de production de l'appareil (fig.24). Ce phénomène existe aussi en moyenne fréquence, et il en résulte que l'on n'a pas intérêt à dépasser une fréquence optimale qui, dans l'état actuel de la technique, est de l'ordre de 400 à 600 Hz.
- Température : étant donné que l'existence d'une "puissance critique" provient de l'influence de la température sur la destruction de l'ozone produit, une réfrigération plus poussée de l'appareil doit logiquement permettre de retarder cet effet négatif et d'obtenir ainsi un surcroît de production lorsqu'on augmente un peu plus la puissance ; c'est bien ce qui se passe dans la pratique, comme on peut le constater en revenant à la fig.24 qui illustre les résultats obtenus dans un cas concret : amélioration de la production maximale de 7% en abaissant la température de l'eau de refroidissement de + 20°C à + 5°C, et de l'ordre de 15% en utilisant un liquide frigorigène à - 10°C. En outre, la fig.24 montre que cette amélioration n'apparaît que pour les hautes valeurs de production : le coût supplémentaire d'exploitation que représente un circuit fermé comprenant un groupe réfrigérant ne sera donc compensé que dans des cas d'une production en moyenne fréquence (le circuit fermé pourra toutefois être envisagé pour les ozoneurs classiques dans des cas particuliers où il faut aussi protéger l'appareil contre des phénomènes de corrosion, comme nous le verrons plus loin au sujet de l'installation de BEDOK à Singapour).
- Tension : la tension de fonctionnement diminue lorsque la fréquence augmente ; il en résulte que pour une fréquence décuplée par rapport aux valeurs usuelles, et malgré le fait que la puissance soit multipliée par un facteur de 2,5 environ, l'abaissement de la tension de fonctionnement atteint près de 50% (voir fig.25).

Ainsi conçue, la production d'ozone en moyenne fréquence présente un certain nombre d'avantages, tant sur le plan économique que sur celui de l'électrotechnique :

- pour un format donné, on peut augmenter la production en passant en moyenne fréquence ; pour une production déterminée, on peut diminuer le nombre des éléments de production d'où une diminution des coûts d'investissement et de maintenance ;
- la diminution de tension résultant de l'augmentation de la fréquence permet au matériel de travailler dans de meilleures conditions (diminution des risques de perforation du matériau diélectrique) ;
- le facteur de puissance de l'installation est amélioré et se rapproche de l'unité ;
- les phases qui alimentent l'appareil sont parfaitement équilibrées, du fait de l'utilisation du pont de Graëtz qui est un récepteur équilibré (alors qu'un ozoneur classique monophasé provoque un certain déséquilibre des phases) ;
- les semi-conducteurs sont des composants dont la qualité s'améliore sans cesse, d'où une constante augmentation de la fiabilité de ce type d'appareillage.

Au total, la production d'ozone en moyenne fréquence représente une innovation technique intéressante ; du point de vue économique, elle devient concurrentielle avec les procédés conventionnels en basse fréquence à partir d'un seuil de production de l'ordre de 3 kg d'ozone à l'heure.

Quant au circuit fermé de refroidissement avec groupe réfrigérant, il devient pratiquement indispensable dans ce procédé lorsque la température de l'eau de refroidissement dépasse 20°C pendant une grande partie de l'année , ce qui concerne plus particulièrement les pays situés en climat tropical.

3.2.2.- Progrès divers (exemples)

- Suppression des aigrettes sur les tubes : le phénomène de formation des aigrettes est dû à des décharges parasites consécutives à une distorsion dans la distribution du champ électrique à l'extrémité de la couche métallique interne du tube de verre ; ce phénomène a été étudié par une méthode graphique (méthode de LEHMANN) et il a pu être supprimé en déterminant la forme d'un connecteur métallique, raccordant la métallisation interne du tube de verre à la source haute tension, qui épouse la forme des surfaces équipotentielles du champ électrique : ce système breveté consiste en une pièce, en acier inoxydable, qui s'insère dans le tube diélectrique jusqu'au contact avec le revêtement métallisé ; ce contact se fait par une partie cylindrique du dispositif, qui comporte ensuite une partie tronc-conique fermée par une demi-sphère, laquelle est munie à son sommet d'un élément permettant son raccordement électrique à la source de haute tension alternative ; les parties cylindrique et tronc-conique sont d'autre part constituées de lamelles, dont l'élasticité permet un bon centrage dans le tube et un bon contact avec la couche métallique interne du tube de verre. Ce dispositif a été récemment décrit en détail au cours d'un Congrès de l'International Ozone Association (27).
- Régulation du traitement à l'ozone : l'automate à microprocesseur MIDES permet de réguler simultanément la production d'ozone et la répartition de l'air ozoné entre les différents compartiments de la tour de contact de façon à assurer une teneur donnée en O<sub>3</sub> résiduel à la sortie de chaque compartiment.

3.2.3.- Un exemple d'application à grande échelle en Extrême-Orient

Dans cette partie du monde, il existe déjà quelques installations pourvues d'un traitement à l'ozone : un exemple intéressant est celui de l'Hotel ROYAL ORCHID en THAÏLANDE, où l'ozonation de l'eau filtrée sur sable précède une seconde filtration sur charbon actif en grains, ce qui représente l'une des chaînes de traitement les plus élaborées dans l'état actuel de la technique. Mais l'installation d'ozone qui est en cours de réalisation à BEDOK (Singapour) présente l'intérêt d'offrir l'exemple de la mise en oeuvre des progrès les plus récents de la technique en matière de production à basse fréquence sur une installation importante.

Ce poste d'ozone est conçu pour traiter 6000 m<sup>3</sup>/h à une dose maximale de 6 g/m<sup>3</sup> d'ozone, dont 2 g/m<sup>3</sup> en préozonation (technique dont nous avons évoqué plus haut les effets bénéfiques) et 4 g/m<sup>3</sup> en désinfection et affinage de l'eau décantée, avant filtration sur sable.

Fig.25

VARIATION DE LA TENSION DE FONCTIONNEMENT  
EN FONCTION DE LA FREQUENCE

Tension

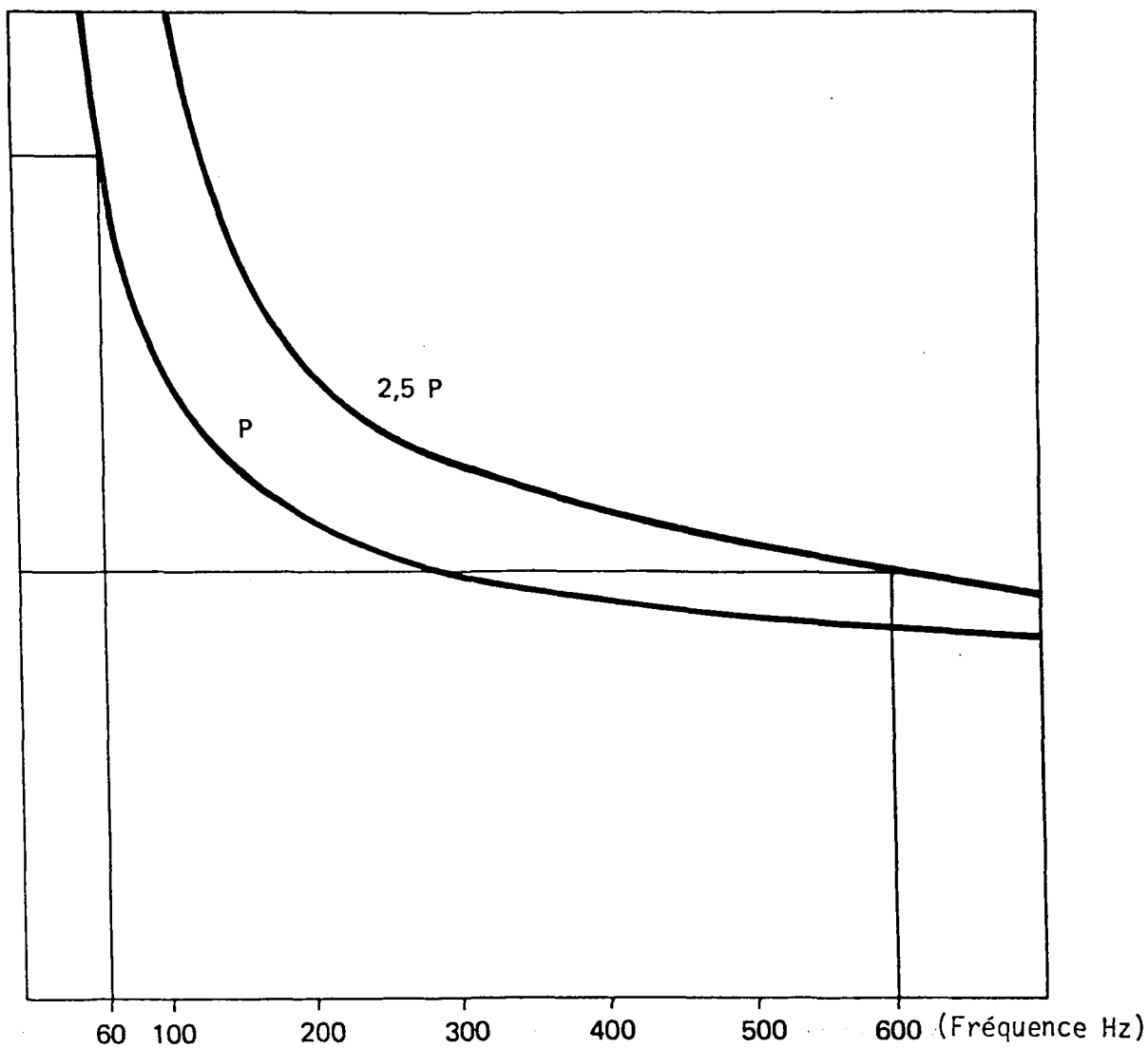
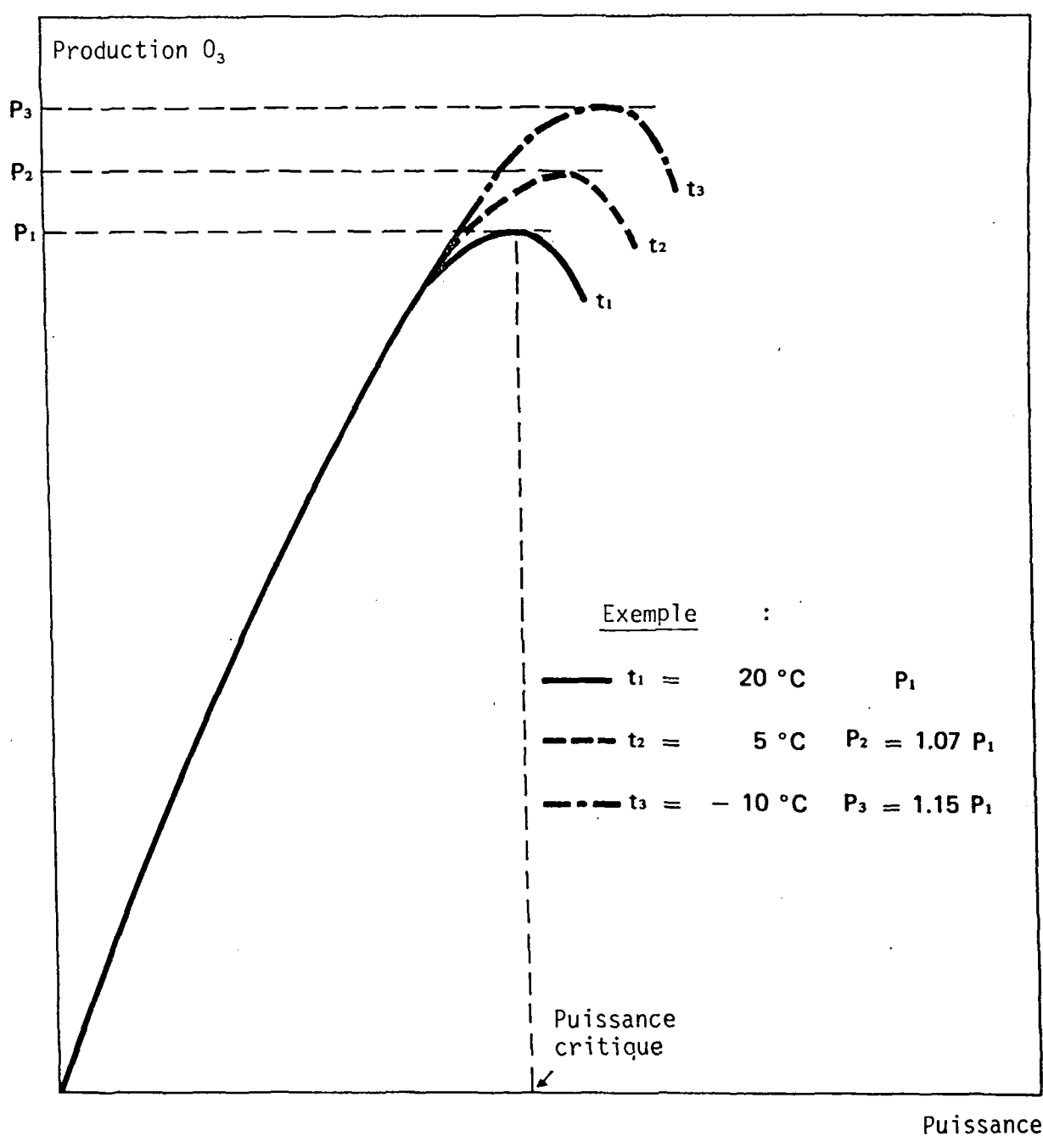


Fig. 24 : PRODUCTION D'UN OZONEUR EN FONCTION DE LA PUISSANCE  
INFLUENCE DE LA TEMPERATURE.



La production est assurée par 4 ozoneurs doubles, dont chacun est équipé de 710 tubes et peut fournir 12,2 kg d'ozone à l'heure (la production théorique est en fait encore supérieure, mais est limitée dans le cas présent par la température de l'eau de refroidissement qui peut atteindre 30°C) : ce sont en principe les plus gros appareils existant dans le monde actuellement, du moins à notre connaissance. Ces ozoneurs sont utilisés de la façon suivante (tout en étant interchangeables grâce à des interconnexions dans les circuits d'air ozoné) :

- un pour la préozonation de l'eau brute,
- deux pour la désinfection principale (placée entre la décantation et la filtration),
- un en secours.

Les principales originalités de cette installation sont donc sa taille et le fractionnement de l'injection de l'ozone dans l'eau ; il faut en outre noter :

- l'existence d'un circuit fermé pour le refroidissement des ozoneurs, afin de les protéger contre la corrosion : en effet, la teneur en chlorures de l'eau dépasse 150 mg/l  $Cl^-$  et il faut donc un conditionnement ; l'eau de ce circuit est refroidie par l'eau traitée dans un échangeur de température ;
- la destruction thermique de l'ozone en excès avec récupération de 85% de l'énergie mise en oeuvre pour cette destruction (préchauffage de l'air issu des tours de contact jusqu'à une température de l'ordre de 240°C, dans un échangeur de température où circule à contre-courant l'air à 320°C issu du four de destruction) ;
- l'augmentation du rendement de dissolution de l'ozone dans l'eau (plus de 90%), grâce à une hauteur d'eau dans les tours de contact portée à 5 m.

#### 4. Problèmes divers

La place manque évidemment pour épuiser un sujet aussi vaste ; nous nous contenterons d'attirer encore l'attention sur 2 points pour terminer cet exposé.

4.1.- Traitement biologique des eaux souterraines. Au cours de ces dernières années, nous avons mis au point des traitements spécifiques pour éliminer par voie biologique des composés indésirables tels que l'ammoniaque, les nitrates, le fer et le manganèse (12). Ces traitements mettent en oeuvre des bactéries naturellement présentes dans le milieu. Leur fiabilité, leur simplicité et (en général) leur faible coût d'exploitation les rendent particulièrement attractifs pour les pays en voie de développement, et plus particulièrement pour les pays tropicaux où la température n'est jamais un facteur limitant.

4.2.- Installations pour petites communautés. Un traiteur d'eau se doit de pouvoir offrir une solution pour tout débit compris entre 1 litre et 10 m<sup>3</sup> par seconde ; mais pour les faibles débits, la qualité de l'exploitation ne sera évidemment pas la même et il faut alors disposer d'une technologie simplifiée. C'est pourquoi il existe toute une gamme de modèles de petites installations, en béton ou en acier, à filtres ouverts ou fermés, conventionnelles ou monoblocs, gravitaires ou sous pression, etc., ce qui permet de disposer du matériel adapté à chaque cas particulier.

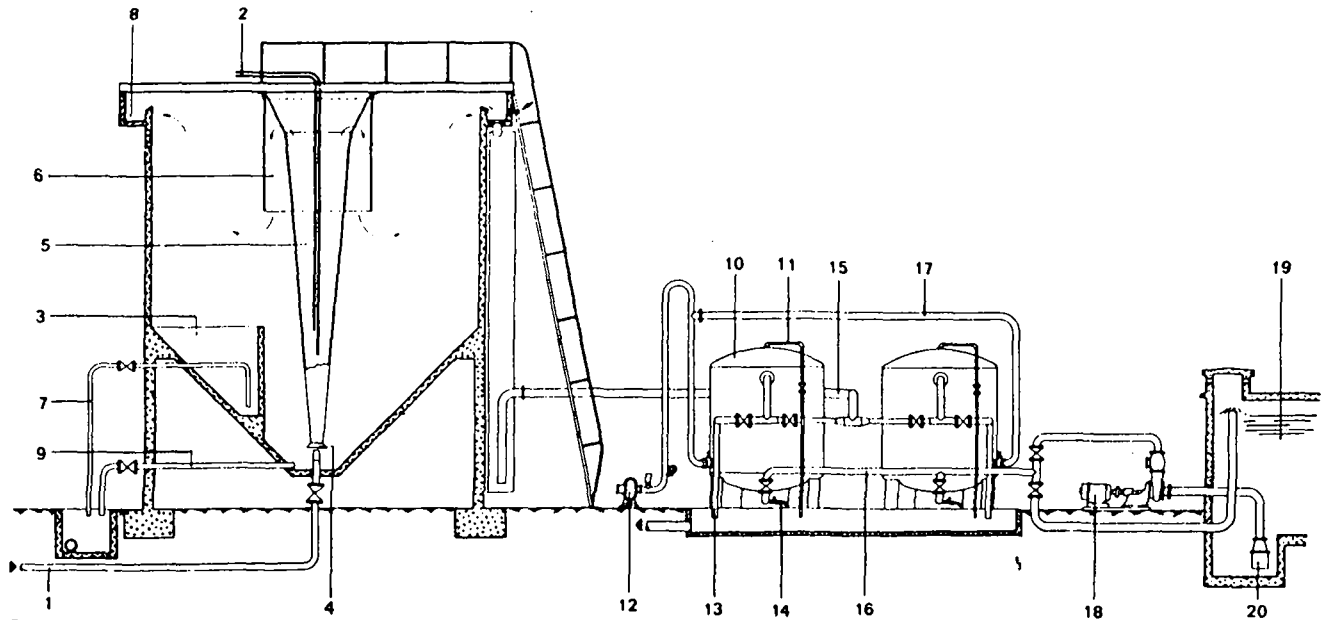
Depuis plusieurs dizaines d'années, nous avons équipé avec de telles installations des petites communautés réparties un peu partout dans le monde, le plus souvent dans les pays tropicaux et plus particulièrement en Afrique Noire. A titre d'exemple, la fig.25 montre l'une d'entre elles, dans laquelle l'utilisation d'un décanteur à contact de boues du type Circulator (où l'énergie nécessaire à la floculation et à la recirculation est puisée dans un système déprimogène au prix d'une légère perte de charge sur la conduite d'arrivée d'eau brute) permet d'éviter tout organe mécanique en mouvement tel que flocculateur, turbine, pompe à vide, etc., tout en fournissant une eau traitée de haute qualité.

Nous estimons d'ailleurs que cette question de qualité de l'eau doit toujours rester présente à l'esprit, quelle que soit la taille de l'installation et le degré de simplification de la technologie, ne serait-ce que pour des raisons sanitaires : de nombreuses publications ont montré qu'une turbidité résiduelle trop élevée pouvait protéger des bactéries pathogènes contre l'action du chlore et favoriser le passage de parasites tels que les kystes des protozoaires responsables de la dysenterie amibienne et de la giardiase ou les cercaires du ver responsable de la bilharziose, dont la résistance au chlore est supérieure à celle des bactéries. Il en résulte qu'une eau mal traitée du point de vue de la clarification peut apporter des organismes pathogènes même si la recherche des germes-tests de contamination fécale s'avère négative ; or dans la plupart des cas, le résultat du traitement dépend surtout de la nature et des doses des réactifs utilisés : c'est davantage une question de chimie que de technologie, et la simplification de la seconde ne peut permettre une simplification de la première.

=====

#### CONCLUSION GENERALE

Tout ce qui a été exposé ci-dessus a permis de passer en revue quelques aspects des progrès qui ont été accomplis ces dernières années en matière de connaissance des eaux tropicales et d'évolution de la technologie en vue de leur traitement ; mais malgré ces progrès, nous constatons qu'il est encore nécessaire d'étudier cas par cas tous les problèmes posés, afin que chacun d'entre eux reçoive une solution spécifique correspondant bien à toutes les données initiales : c'est à ce prix que toutes les installations de traitement délivreront une eau de bonne qualité, à laquelle tout être humain est maintenant en droit de prétendre.



- |                           |                                 |   |
|---------------------------|---------------------------------|---|
| 1. Arrivée d'eau brute    | 8. Goulotte d'eau décantée      | 15. Arrivée d'eau décantée                      |
| 2. Injection de réactifs  | 9. Vidange du décanteur         | 16. Collecteur d'eau filtrée                    |
| 3. Concentrateur de boues | 10. Filtres                     | 17. Collecteur d'air surpressé                  |
| 4. Tuyère                 | 11. Evacuation d'air            | 18. Pompe de reprise d'eau filtrée et de lavage |
| 5. Chambre de mélange     | 12. Surpresseur d'air de lavage | 19. Citerne d'eau filtrée                       |
| 6. Chambre de floculation | 13. Sortie d'eau de lavage      | 20. Aspiration d'eau filtrée                    |
| 7. Evacuation des boues   | 14. Sortie d'air et vidange     |   |

Fig. 26 – Schéma d'une station AQUAZUR avec CIRCULATOR en clarification



### Références bibliographiques

1. FARNSWORTH, C.G. & NELSEN, B.A. (1973) : "Reservoir storage improves water quality".- Public Works, May, 72-75.
2. OSKAM, G. et al. (1982) : "Effects of water storage before treatment".- 14 th Congress I.W.S.A., Zürich, Special Subject 11, 27 pages.
3. VOLLENWEIDER, R.A. (1968) : "Scientific Fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters, with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in eutrophication".- Organization for Economic Cooperation & Development, Directorate for Scientific Affairs.
4. ANDREWS, R.H.G., (1968) : " Gravity filtration of algal suspensions".- The Ontario Water Resources Commission, Research Publ. n°21, 41 pages.
5. FOESS, G.W. & BORCHARDT, J.A. (1969) : "Elektrokinetic phenomena in the filtration of algal suspensions".- Journal A.W.W.A., 61, 7, 333-338.
6. JOHNSON, D. ; FARLEY, M.R. & YOUNGMAN, R.E. (1972) : "Algal removal studies on a pilot scale water treatment plant at Loch Leven, Kinross".- Proc. R.S.E. (B), 74, 183-194.
7. HUTCHINSON, W. & FOLEY, P.D. (1974) : "Operational and experimental results of direct filtration".- Journal A.W.W.A., 66, 2, 79-87.
8. BOWLES, B. & QUENNEL, S. (1971) : " Some quantitative algal studies of the River Thames".- Water Treatm. & Examination, 20, 1, 35-51.
9. SPEEDY, R.R., FISHER, NIB. & McDONALD, D.B. (1969) : "Algal removal in unit processes".- Journ. A.W.W.A., 61, 6, 289-292.
10. KLIMOWICZ, H. (1970) : "Plankton removal in a river water by means of sludge blanket clarifiers".- Gaz, Woda i technika sanitarna, n°6, 205-208 (in Polish).
11. AL-LAYLA, M.A. & MIDDLEBROOKS, E.J. (1974) : "Algae removal by chemical coagulation".- Water et Sewage Works, Sept., 76-80.
12. MOUCHET, P. (1982) : "Réflexions complémentaires sur l'importance des phénomènes biologiques dans le traitement et la distribution des eaux de consommation".- La Technique de l'Eau et de l'Assainissement, 424, 7-25.
13. VAN VUUREN, L.R.J. et al. (1981) : "Treatment of water from eutrophied impoundments".- Specialised Conf. ou Eutrophication and Water Supply, I.W.S.A., Oct., Vienna (Austria), in Aqua, 1, 354-360.
14. THEBAULT, P. & HAUBRY, A. (1982) : 14 th Congress I.W.S.A., Zürich, Special Subject 10.
15. SHEN, Y.S. (1973) : "Study of arsenic removal from drinking water".- Journ. Amer. Water Works Assoc., 65, 8, 543-548.
16. CHINA WATER WORKS ASSOCIATION (1982) : "Unified Management of Water Supply in Taiwan".- Aqua, n°5, 34-35.
17. BELLACK, E. (1971) : "Arsenic Removal from potable water".- Journal Amer. Water Works Assoc., 63, 7, 454-458.
18. RICHARD, Y. (1974) : "La décantation lamellaire et ses nouveaux développements". T.S.M.-L'Eau, 69, 3, 113-126.
19. RICHARD, Y. (1977) : "Le Superpulsator".- La Tribune du Cebedeau, 407, 364-371.

20. MIGNOT, J. (1974) : "Combinaison de la décantation lamellaire et de la décantation à lit de boues".- A.I.D.I.S., XIV Inter-Amer. Congress Sanit. Engin., Mexico, August.
21. MOUCHET, P. (1974) : "Advanced processes in potable water treatment : Presentation of the Pulsator and Superpulsator-clarifiers, and of the Aquazur-T and V Filters".- Jakarta, 4 th Oct., 32 pages.
22. RICHARD, Y. & CAPON, C. (1977) : "Recent advances in drinking water treatment".- French Exhib., Jakarta, March.
23. DEGREMONT (1979) : "Sludge blanket clarifiers".- In : "Water Treatment Handbook", 5 th Edition, Halsted Press (J.Wiley & Sons : New-York, Chichester, Brisbane, Toronto), 178-183 - See also "High-rate filters", 291-297.
24. ATHERTON, T. & GOSS, J. (1981) : "Low turbidity water from fast processes".- Water-Engineering & Management, July, 40-43.
25. COIN, L. et al (1964) : "Inactivation par l'ozone du virus de la poliomyélite présent dans les eaux".- La Presse Médicale, 72,37 .
26. MOUCHET, P. (1978) : " Recherches bibliographiques sur les goûts et odeurs d'origine biologique dans les eaux potables : identification des organismes et de leurs métabolites, remèdes possibles".- T.S.M. L'Eau, 73, 3 (Spécial "Hydrologie"), 145-153.
27. LOUBOUTIN, R. (1981) : "Analyse des phénomènes de décharges parasites dans les ozoneurs à tubes diélectriques en verre et procédé d'élimination".- Wasser Berlin 81, 5. Ozon-Weltkongress (I.O.A.), 817-829.

\* \* \* \*

Utilisation du charbon actif dans le traitement de l'eau

I - INTRODUCTION

Très souvent, dans la description d'une usine de traitement d'eau potable ou résiduaire figure la mention "addition de charbon actif" ou "traitement complémentaire au charbon actif". A notre avis, ces appellations recouvrent des réalités très différentes selon les cas. En effet, les buts que l'on se propose en employant le charbon actif sont extrêmement variés.

Prenons les quelques exemples suivants :

EAU POTABLE :

Le but poursuivi en traitant au charbon est-il : la déchloration, l'élimination des goûts et des odeurs, la disparition des pesticides ? S'agit-il de faire face à une pollution accidentelle, journalière, saisonnière ou permanente ?

EAU RESIDUAIRE :

Le but poursuivi en traitant au charbon actif est-il l'élimination des composés dangereux (mercure, pesticides, etc...) l'abaissement du seuil de DCO au niveau réglementaire ? Veut-on donner à l'eau des caractéristiques jugées acceptables par la population (couleur, odeur) ou employer le charbon actif pour éviter le moussage et favoriser le conditionnement des boues dans les stations biologiques ?

Les différents buts ci-dessus peuvent être combinés ; par ailleurs, les quantités varient dans de très grandes proportions et il en est de même du coût financier supportable. Aussi, un diagnostic précis apparaît-il nécessaire, afin de connaître ce qu'il est raisonnablement possible d'attendre du charbon actif, et par quelle voie on peut parvenir aux résultats souhaités, ce, avant d'effectuer un traitement sur charbon actif. Rappelons toutefois, que le coût de celui-ci croît exponentiellement en fonction de la pureté choisie.

## II. PLAN GENERAL DE PRESENTATION

### 1. Notions générales sur le phénomène d'adsorption :

Le charbon actif est un matériau inerte dont l'essentiel est un réseau carboné (plus de 95% de carbone), au sein duquel le phénomène d'activation a permis de développer un réseau très dense de pores dont les diamètres varient entre 10 et 2000 Angström (Å) (photo structure poreuse : annexe 1).

Cette porosité très importante permet d'obtenir un volume de pores qui oscille entre 0,7 et 1,3 cm<sup>3</sup>/g de charbon actif.

Egalement, les parois de ces pores interviennent dans le phénomène d'adsorption physique grâce à la dimension importante de la surface développée par ces parois qui varie entre 700 et 1.500 m<sup>2</sup>/g. Cette surface développée au sein de la structure poreuse va mettre en jeu les forces de Van Der Waals, qui permettent d'attirer et de retenir les matières organiques dissoutes dans un gaz ou dans un liquide qui se trouvent ainsi libérés des contaminants organiques indésirables. Selon le type de molécules organiques à retenir, on essaiera de développer des pores ayant des diamètres plus ou moins grands, de manière à favoriser cette adsorption et à éviter la présence de pores de diamètres trop petits, qui empêcherait la pénétration de ces matières organiques par phénomène de tamisage moléculaire.

#### Structure poreuse (annexe 2) :

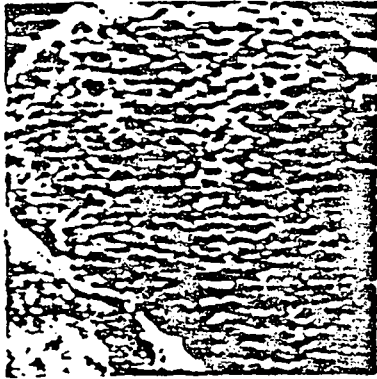
Sur le schéma trois types de pores très différents sont représentés.

Le premier présente un pore caractéristique d'un charbon actif utilisé en phase gazeuse. Il est très étroit et très long, permettant ainsi de retenir les petites molécules telles qu'on les trouve dans un courant de gaz contenant notamment des solvants. Ce type de pore sera développé dans les charbons actifs de types AC ou NC destinés aux installations de récupération de solvants et de traitement des gaz en continu.

Le deuxième type de pore que nous présentons est caractéristique des charbons actifs en poudre ou en grains utilisés pour le traitement des eaux potables. Nous cherchons ici à développer un maximum de pores dans une zone de transition comprise entre 10 et 20 Å (les mésopores) qui retiendront plus particulièrement les micro-polluants, des acides humides et fulviques, des chlorophénols, autant de substances que l'on retrouve dans les eaux brutes de surface (rivières et lacs) servant pour la fabrication d'eau potable.

.../...

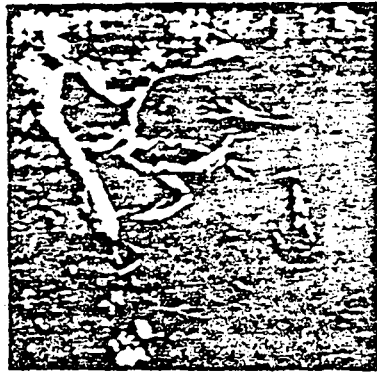
ANEXE 1



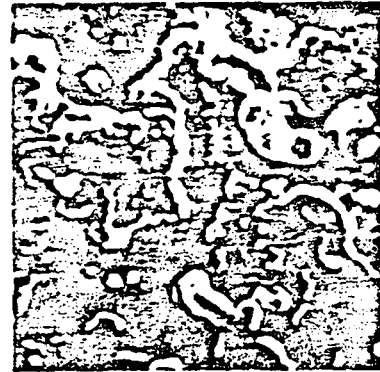
1. 20 × agrandi



2. 8 × agrandi



3. 10 × agrandi



4. 8000 × agrandi

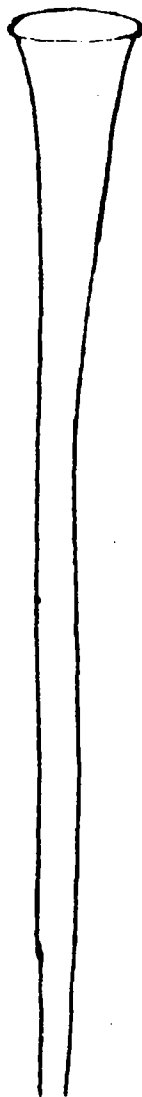


PHASE GAZEUSE

(micropores prédominants)

TYPES : NC 35 / AC 35

0-15/20 Angströms

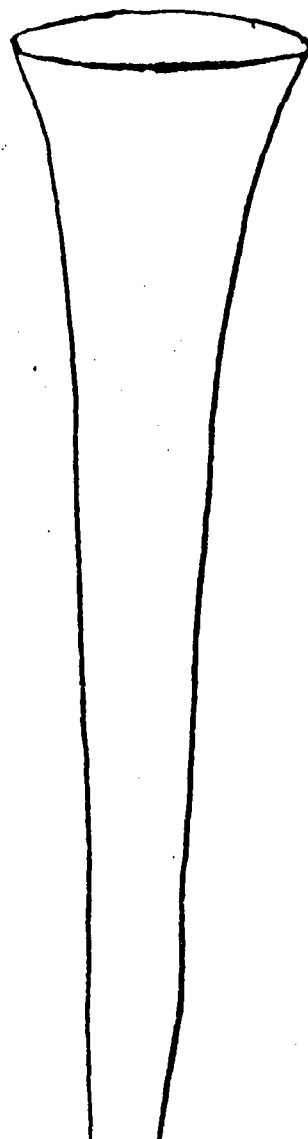


TRAITEMENT D'EAU

(micropores prédominants)

TYPES : TE / TK

0-40 Angströms

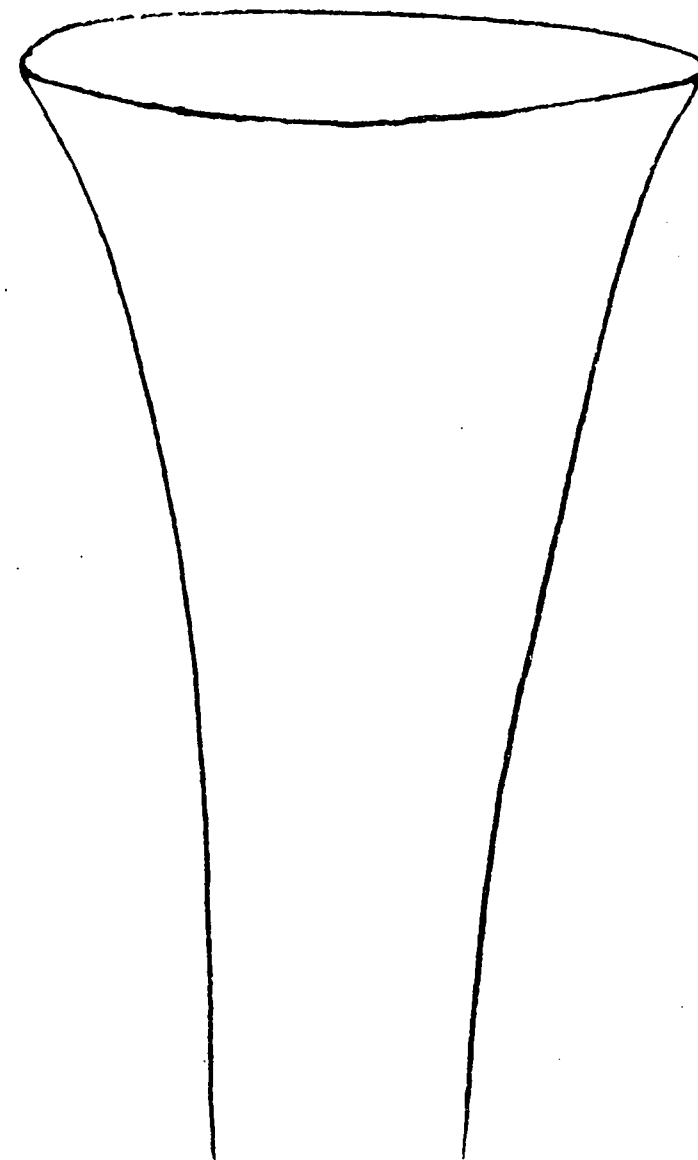


DECOLORATION

(macropores et mésopores prédominants)

TYPES : 2S / 3S (activés physiquement)

0-500/1000 Angströms



Le troisième type de pore est caractéristique des charbons à haut pouvoir décolorant pour lesquels il importe de pouvoir retenir, non seulement des molécules à haut poids moléculaire, telles que les mélasses, mais aussi, celles résultant en particulier des réactions de Maillard, à savoir polycondensation d'acides aminés ou de polysaccharides sur acides aminés sous l'effet de la chaleur, provoquant l'apparition de coloration importante dans les solutions de sucre, de glucose et d'acides aminés.

Les diamètres des pores qui nous intéressent ici sont ceux qui seront supérieurs à 25-30 Å (la molécule de mélasse a un diamètre de 28 Å) et pouvant atteindre 1000 à 2000 Å de diamètre.

Pour ces charbons actifs, les sites d'adsorption seront en fait compris dans des pores de 25 à 100 Å, les pores de diamètre supérieurs, intervenant surtout comme grande voie rapide de pénétration et à ce titre influençant la cinétique d'adsorption.

Bien entendu, il n'existe pas de charbon actif qui ne contienne qu'une sorte de structure poreuse, mais en jouant sur les matières premières et les types d'activation (thermique, chimique), on peut infléchir la structure poreuse vers une prédominance de l'une ou l'autre des porosités.

Le schéma suivant (annexe 3) illustre la présence possible des trois grandes familles de pores : les macropores, les mésopores et les micropores dans un seul et même charbon actif avec pour corollaire un phénomène de tamisage moléculaire qui peut guider, non seulement le choix du type de charbon actif, mais également les méthodes de mise en oeuvre pour tenir compte du phénomène fréquent de compétition entre différentes molécules à adsorber.

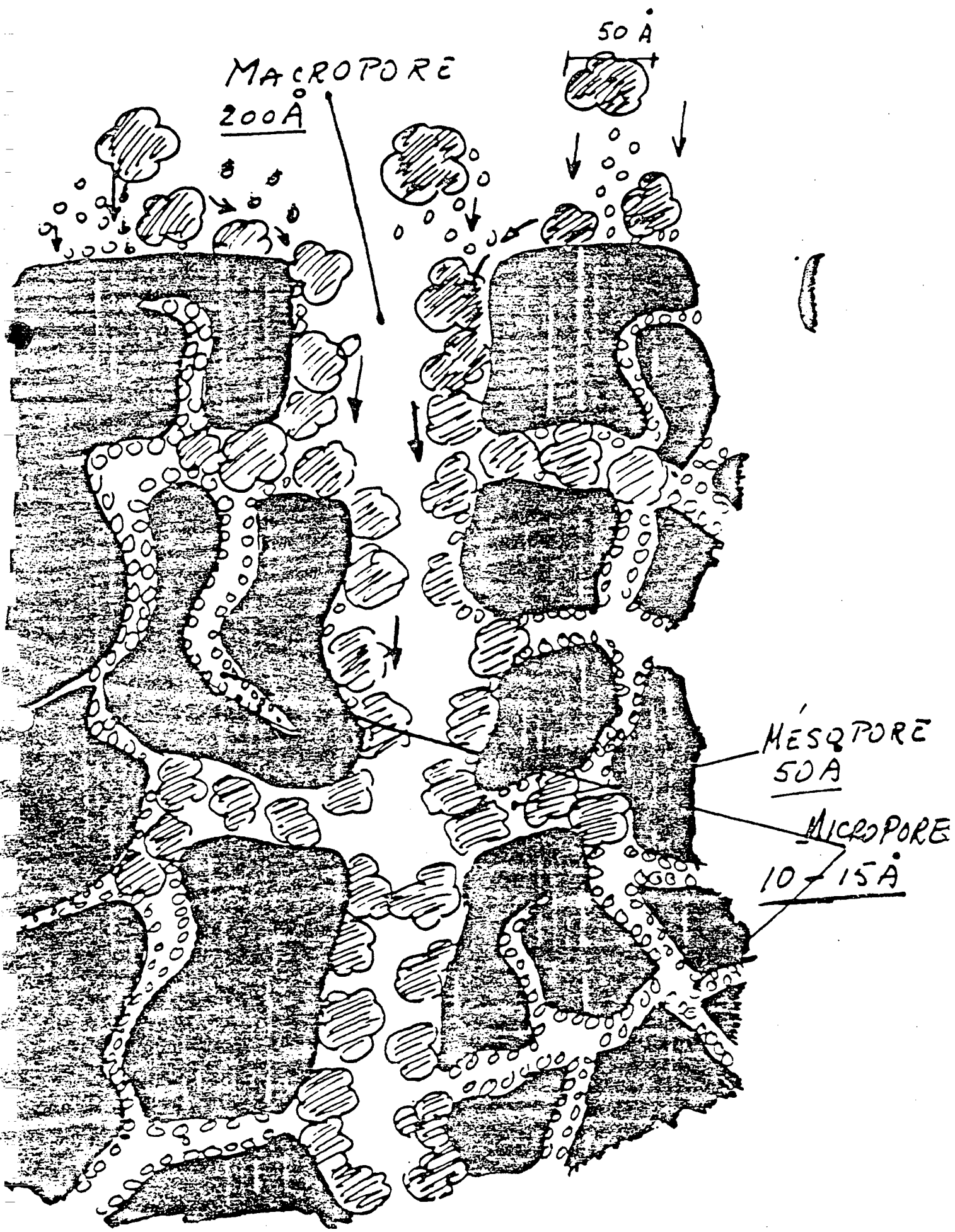
## 2. Le charbon actif et son mode d'ACTION :

L'adsorption, en effet, est un phénomène de surface. Les molécules présentes dans une phase mobile, gaz ou liquide, viennent se fixer sur la surface de tout corps solide. Au bout d'un certain temps, un équilibre finit par s'établir entre celles qui se fixent, et celles qui partent. Le taux de fixation de ces molécules dépend de la température. C'est ainsi que l'on définit un isotherme d'adsorption qui, à une température donnée, pour un adsorption défini, exprimé en fonction de la concentration d'une molécule, donne la quantité fixée sur la surface du charbon.

Dans l'eau pour un corps déterminé, on définit une équation appelée isotherme de Freundlich :

$$\frac{x}{m} = KC \cdot l/n$$

STRUCTURE POREUSE DU CHARBON ACTIF  
EFFET DE TAMISAGE MOLECULAIRE  
CONCURRENCE ENTRE GRANDES ET PETITES MOLECULES





- 11 -
- $\frac{x}{m}$  = quantité de produit fixé par une masse M d'adsorbant.  
 C = concentration du corps à fixer à l'équilibre  
 K = constante  
 n = exposant de l'ordre de 2 à 10

La détermination de cet isotherme n'est malheureusement pas toujours possible et surtout face à la multiplicité des cas possibles pour des raisons de coût et de temps, il est parfois nécessaire de procéder autrement. Une méthode commune de détermination de ces indices n'a pas encore pu être mise au point, mais des tentatives sont en cours.

Il est nécessaire de rappeler que la porosité du charbon actif se compose de pores de dimensions très variées. Dans un souci de simplification, on distingue trois types de pores :

- Les macropores de dimensions supérieures à 10 000 Å qui ne jouent pas un rôle très important dans l'adsorption,
- Les pores de transition de 100 à 10 000 Å qui jouent un rôle négligeable dans l'adsorption, mais non dans la cinétique, car ce sont les pores d'accès des micropores,
- Les micropores qui constituent les pores d'adsorption ; nous les classons un peu arbitrairement en 3 catégories :
  - \* **Les maxi micropores** qui sont des pores dont la dimension est comprise entre 25 et 100 Å ; ils sont capables d'adsorber les plus grosses molécules organiques ; on caractérise ces pores par leur pouvoir décolorant vis-à-vis de la mélasse ;
  - \* **Les moyens micropores** qui sont des pores dont les dimensions sont comprises entre 15 et 25 Å ; on les caractérise par le pouvoir décolorant vis-à-vis des pigments colorants tels que le bleu de méthylène ; bien entendu, cet indice prend en compte la totalité de la porosité au-dessus de 15 Å, donc les moyens, mais aussi les maxi micropores ;
  - \* **Les mini micropores** sont tous les pores supérieurs à 5 Å. Ils sont caractérisés par l'indice d'iode qui, lui aussi, prend en compte, non seulement ce type de pore, mais aussi les maxi et les moyens micropores.

Théoriquement, soit à partir des indices, soit à partir de la courbe de désorption à l'azote à  $-196^{\circ}\text{C}$ , il est possible de déterminer la répartition complète de la dimension d'accès des pores.

Une autre méthode utilisée consiste à définir la surface BET du charbon ; on voit donc que définir un charbon par sa seule surface BET est très insuffisant, il s'agira d'un résultat qui ne donnera qu'une idée très insuffisante des possibilités du charbon.

### 3. . Réaction du charbon actif par rapport à divers polluants :

#### \* Maxi microporosité :

Ce type de porosité dans le traitement d'eau est utilisé pour éliminer des algues microscopiques, telles que la géosmine, responsable d'un goût moisi de l'eau. Ce domaine de porosité est aussi intéressant, lorsque l'on veut éliminer des acides humides pour lesquels les dimensions d'accès sont encore supérieures à celles des pigments contenus dans la mélasse.

En première approximation, dans ce type de problème, on aura intérêt à considérer l'indice de mélasse en priorité ; Voici d'ailleurs quelques résultats obtenus sur différents charbons :

. Poudre : quantité de charbon actif pour décolorer à 80%  
1 litre de solution à 10 g/l de mélasse :

- charbon actif à base de bois de pin à forte activité : 280 mg
- charbon actif à base de bois de pin à activité moyenne : 400 m
- charbon actif obtenu à partir de différents mélanges : 1 500 m
- charbon actif obtenu à partir de tourbe : 800 mg.

. Grains :

- Charbon actif à base de noix de coco : 3000 mg
- charbon actif à base de houille : 700 mg
- charbon actif à base de bois de pin : 700 mg

#### \* Moyenne microporosité :

Cette porosité est intéressante, lorsque l'on se propose d'éliminer des molécules de tailles comprises entre 15 et 25 Å , c'est-à-dire, des pigments colorés comprenant des hétérocycles accolés, mais non des macromolécules ; dans la totalité des cas, on la caractérise par le pouvoir d'adsorption du charbon vis-à-vis du bleu de méthylène.

Voici quelques-unes des caractéristiques de ces charbons :

. Poudre :

- charbon actif à base de pin à forte activité : 24 %
- charbon actif à base de pin à moyenne activité : 15%
- charbon actif à base de tourbe à moyenne activité : 11%
- charbon actif obtenu par mélange spécial (traitement d'eau):11

. Grains :

- charbon actif à base de noix de coco : 24 %
- charbon actif à base de houille : 24 %
- charbon actif aggloméré à base de bois de pin : 21 %

\* Mini micropororité :

Cette porosité est intéressante lorsque les molécules à éliminer sont de petites tailles, telles que les détergents, les chlorophénols, les hydrocarbures halogènes.

Lorsque le charbon actif est utilisé pour déchlorer les eaux, opération qui consiste à transformer le chlore libre en ion chlore, c'est la surface totale du charbon qui est à prendre en considération, essentiellement la microporosité.

| CHARBON EN POUDRE                                    | IODE(1) | DETERGENT(2) | PHENOL (3) |
|--|---------|--------------|------------|
| Charbon actif à base de bois de pin à forte activité | 115     | -            | -          |
| Charbon actif à base de pin à activité moyenne       | 100     |              |            |
| Charbon actif à base de tourbe                       | 85      |              | 23         |
| Charbon actif à base de mélange de diverses origines | 90,2    | 12           | 17,5       |

| CHARBON EN GRAINS                           | IODE(1) | DETERGENT(2) | PHENOL(3) |
|---|---------|--------------|-----------|
| Charbon actif à base de noix de coco        | 106     | 30           | 15        |
| Charbon actif à base de houille             | 120     | 30           | 38        |
| Charbon actif extrudé à base de bois de pin | 120     | 19           | 38        |

1) Quantité d'iode adsorbé par 100 g en g de charbon actif à partir d'une solution d'iode N/5.

2) Quantité de charbon actif en mg pour abaisser la teneur en détergent (lauryl sulfate de soude) de 1 l de solution de 0,23 mg/l à 0,025 mg/l)

3) Quantité de charbon actif en mg pour abaisser la teneur en phénol de 1l de solution de 0,1 MG/l à 0,01 mg/l.

ANNEXE 18

CHARBONS ACTIFS FABRIQUES A PARENTIS

CHARBONS ACTIFS A BASE DE BOIS DE PIN (ACTIVATION THERMIQUE)

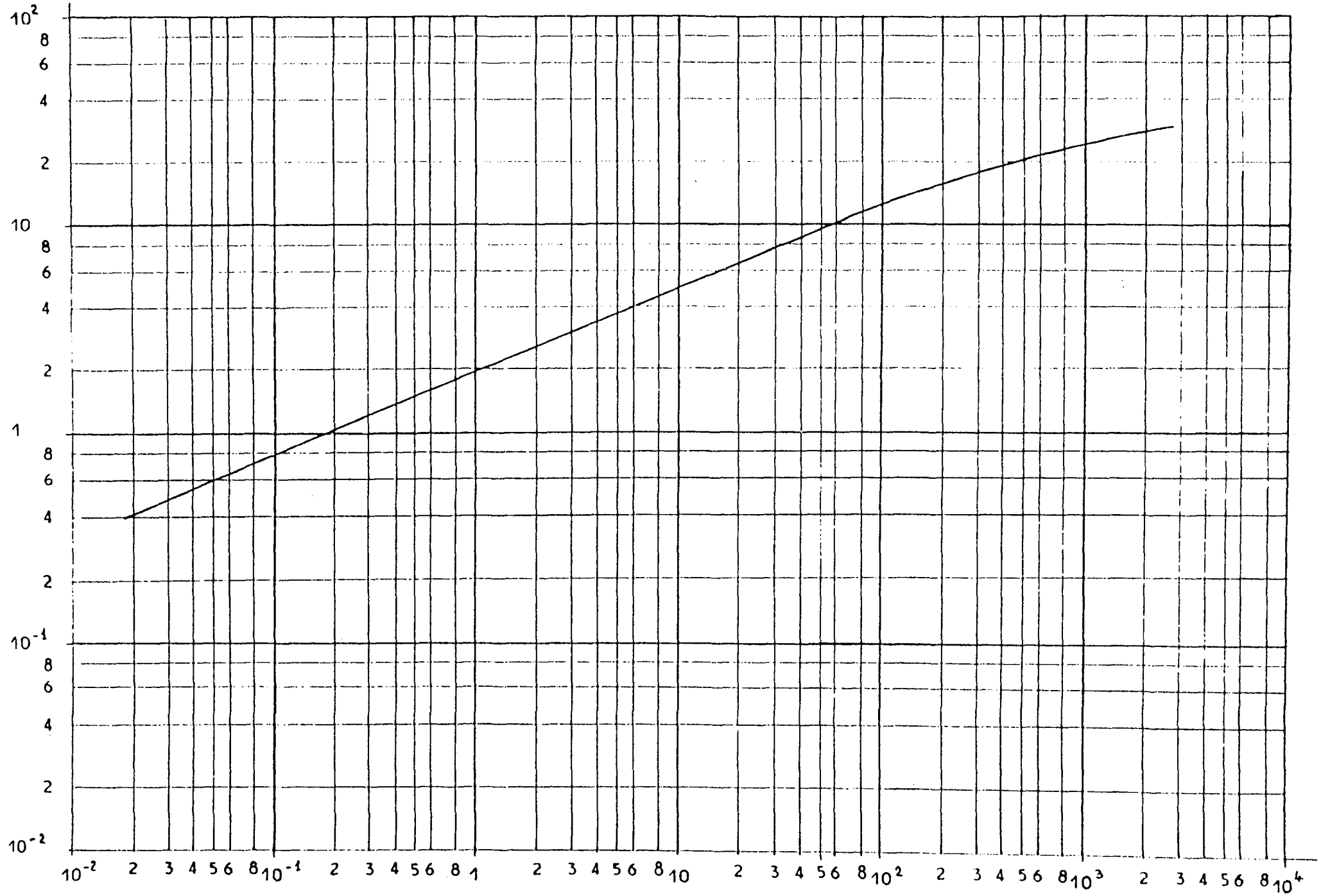
| SPECIFICATIONS |                     |                           |                              |                        |                   |                    |                             | CARACTERISTIQUES MOYENNES |                   |              |              |      |                          |              |
|----------------|---------------------|---------------------------|------------------------------|------------------------|-------------------|--------------------|-----------------------------|---------------------------|-------------------|--------------|--------------|------|--------------------------|--------------|
| Produit        | Fe<br>ppm<br>(maxi) | Mélasse<br>CECA<br>(mini) | Bleu de<br>méthyl.<br>(mini) | Iode<br>CECA<br>(mini) | Cendres<br>(maxi) | Humidité<br>(maxi) | Refus<br>80 $\mu$<br>(maxi) | Mélasse                   | Bleu de<br>méthyl | Iode<br>CECA | Cendres<br>% | pH   | BET<br>m <sup>2</sup> /g | Commentaires |
| TE             | -                   | -                         | -                            | 65                     | 12                | 15                 | 20                          | 20-40                     | 3                 | 70-80        | 7-8          | 8-10 | 600                      |              |
| TK             | -                   | -                         | -                            | 85                     | 12                | 15                 | 20                          | 20-40                     | 4                 | 90-100       | 7-8          | 8-10 | 800                      |              |
| 25 E           | -                   | -                         | 6                            |                        | 12                | 15                 | 20                          | 40                        | 7                 | 65-85        | 7-8          | 8-10 | 600                      |              |
| 25 DC          | -                   | -                         | 8                            |                        | 12                | 15                 | 20                          |                           | 9                 | 75-90        | 7-8          | 8-10 | 800                      |              |
| GP             |                     | 45                        |                              |                        | 7                 | 10                 | 10                          | 50                        | 7                 | 80-100       | 5            | 9-10 | 750                      |              |
| S 45           |                     | 65                        | -                            |                        | 7                 | 10                 | 10                          | 70                        | 8                 | 90-105       | 5            | 9-10 | 800                      |              |
| S 45 X         |                     | 80                        | 7                            | -                      | 7                 | 10                 | 10                          | 85                        | 9                 | 90-105       | 8            | 9-10 | 800                      |              |
| S              |                     | 95                        | -                            | -                      | 7                 | 10                 | 10                          | 100                       | 10                | 95-110       | 5            | 9-10 | 900                      |              |
| SX             | 400                 | 95                        | 11                           | -                      | 5                 | 10                 | 10                          | 100                       | 12                | 95-110       | 3            | 9-10 | 900                      |              |
| SM             | -                   | 128                       | -                            | -                      | 7                 | 10                 | 10                          | 133                       | 12                | 110          | 5            | 9-10 | 1000                     |              |
| SMX            | 500                 | 128                       | 13                           | -                      | 5                 | 10                 | 10                          | 133                       | 14                | 120          | 3            | 9-10 | 1000                     |              |
| 2 S *          | -                   | 160                       | 14                           | -                      | 5                 | 10                 | 10                          | 166                       | 14                | 125          | 3.2          | 9-10 | 1100                     | US Codex     |
| 3 S            | -                   | 195                       | 17                           | -                      | 6                 | 10                 | 10                          | 200                       | 18                | 135          | 4            | 9-10 | 1200                     | US Codex     |
| 4 S            | -                   | 240                       | 19                           | -                      | 7                 | 10                 | 10                          | 250                       | 20                | 150          | 5            | 9-10 | 1300                     |              |
| 50 S           | -                   | -                         | 25                           | -                      | 13                | 10                 | 10                          | 380                       | 28                | 160          | 14           | 9-10 | 1400/1500                |              |

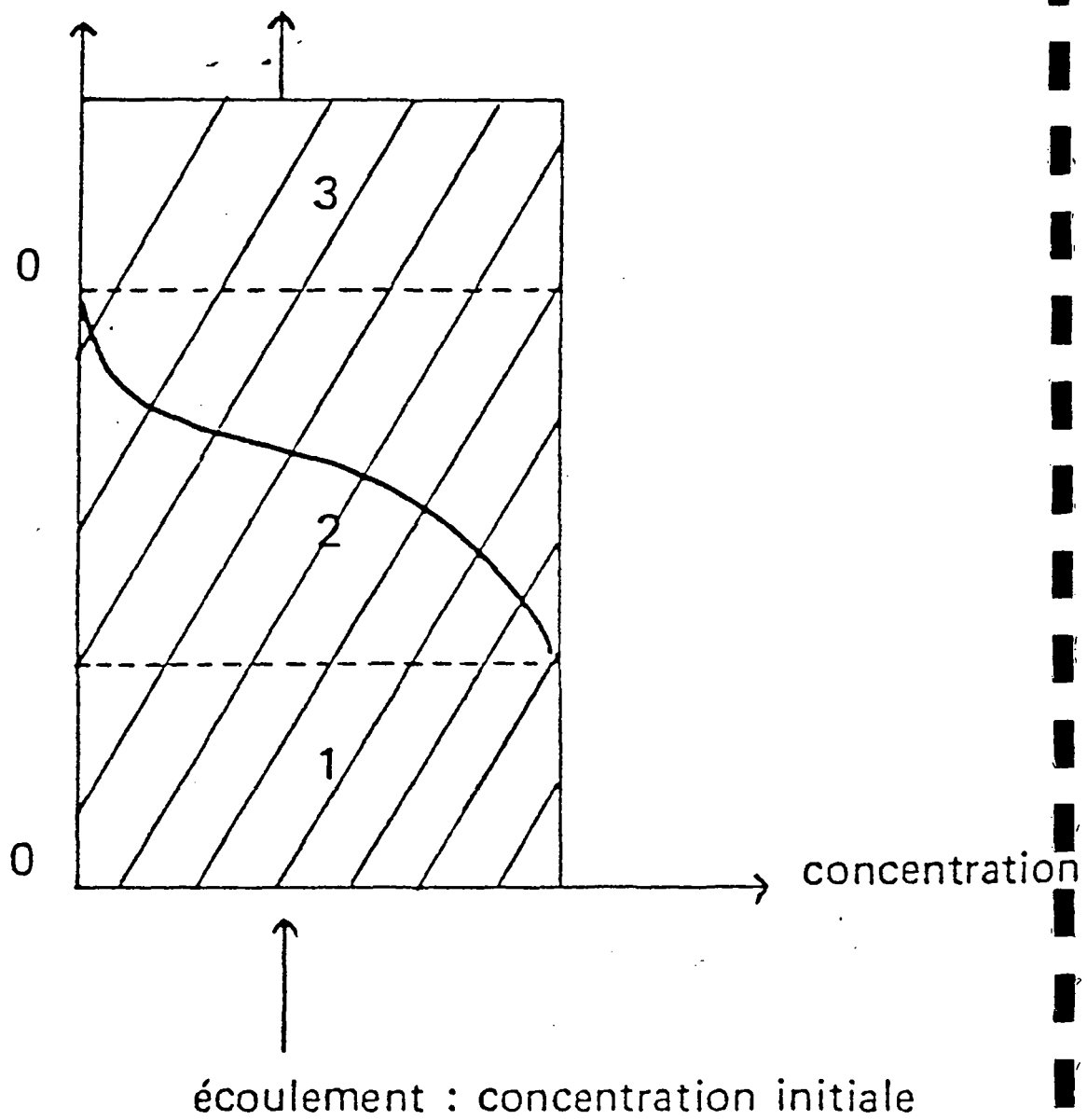
\* 300 ppm sur spécifications



$\frac{x}{m}$  (g adsorbés/100 g de charbon)

ISOTHERME D'ADSORPTION DU PHENOL  
SUR CHARBON ACTIF EN PHASE AQUEUSE (20° C)





- Zone saturée 1 : En début de colonne, l'adsorbant a atteint son taux de chargement maximum, taux qui peut être donné par l'isotherme, à l'équilibre avec la concentration initiale et non la concentration finale comme dans l'adsorption en statique.
- Zone de transfert 2 : La concentration va en décroissant jusqu'à 0. C'est la zone de transfert ou du front d'adsorption. Les diverses couches de charbon ne sont pas en équilibre avec la concentration correspondante.
- Zone vierge 3 : L'adsorption n'a pas encore eu lieu, l'adsorbant est vierge.

Après saturation d'une première tranche d'adsorbant, le front d'adsorption d'équilibre s'établit et va se déplacer parallèlement à lui-même à la vitesse correspondant à celle de la saturation. On conçoit que lorsque le front atteint la fin de la couche d'adsorbant, l'effluent commence à laisser passer du produit non retenu à la concentration limite fixée.

C'est le point de fuite ou rupture qui nécessite l'arrêt de la percolation. A ce stade, le taux d'adsorption moyen à la fuite est inférieur au taux de saturation. L'augmentation de l'épaisseur du lit d'adsorbant fait tendre le taux d'adsorption à la fuite vers celui à saturation.

Dans la pratique, on ne considère comme zone de travail que la zone où d'une concentration 100, on passe à une concentration 1. Dans ce cas, on parlera d'un front d'adsorption 100/5 ; dans le deuxième cas, d'un front d'adsorption 100/1, la fixation dans la zone vierge étant considérée comme négligeable.

Cette zone varie considérablement ; on peut noter 4 facteurs principaux :

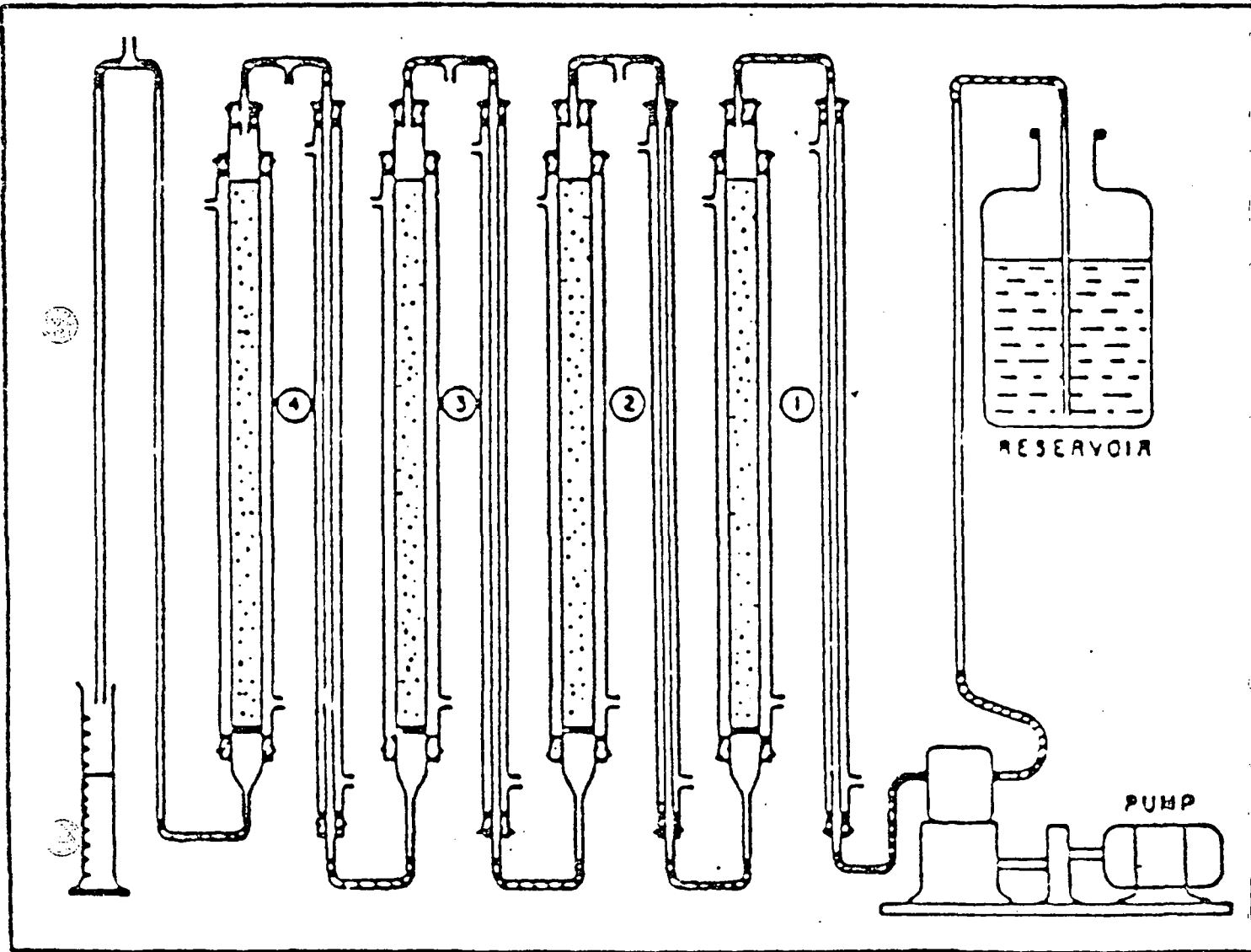
- 1) le pourcentage éliminé pris en compte
- 2) la vitesse de circulation de l'eau à travers le charbon
- 3) la granulation du charbon
- 4) la porosité de transition du charbon : c'est la porosité entre 100 et 10.000 Å qui, si on fixe les trois premiers paramètres, permettra de tester par comparaison, les qualités du charbon.

#### 5. Quelques éléments pour choisir un des 2 traitements dans le cas de l'eau potable :

On est obligé de faire une distinction entre eau superficielle et eau souterraine. Dans ce dernier cas, il s'agit d'eau assez pure ou même, si tel n'est pas le cas, d'eau ayant une pollution peu importante assez constante. le taux de traitement, si on utilise du charbon en poudre, sera toujours faible et la durée de vie des lits de charbon granulaire sera toujours longue.

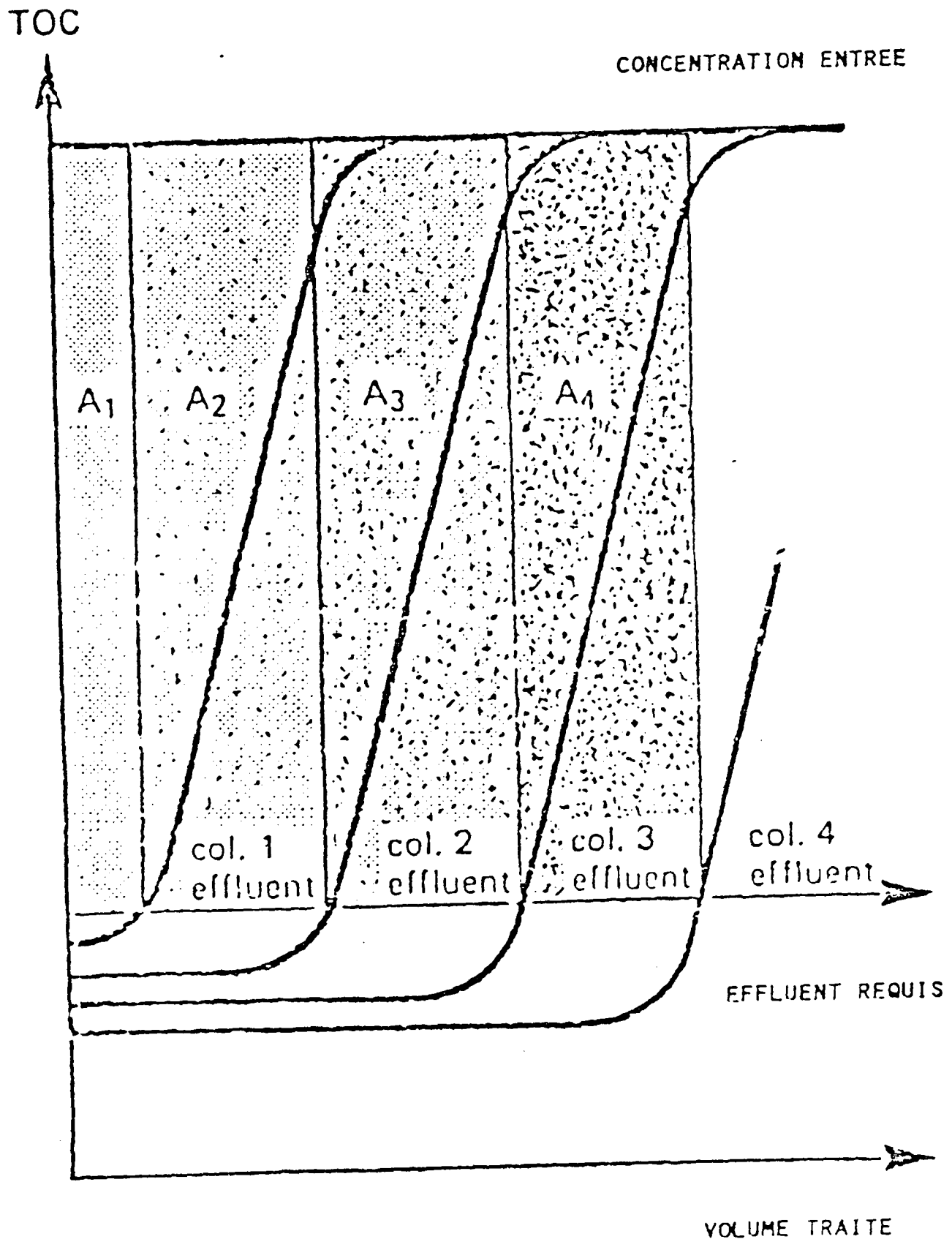


ANNEXE 5



— Versuchsanlage

ANNEXE 5 bis



RESULTATS SUR COLONNES PILOTE REPRESENTES GRAPHIQUEMENT EN FONCTION DU CARBONE ORGANIQUE TOTAL ET DU VOLUME TRAITÉ

Le choix entre un procédé ou l'autre dépend plutôt des problèmes d'exploitation que ceux du coût du charbon proprement dit. Si on désire minimiser l'installation initiale, on aura intérêt à choisir le charbon en poudre, puisqu'il suffit d'un silo, d'un bac de préparation de barbotine, du charbon et d'une pompe doseuse.

Si on désire minimiser les frais de conditionnement, on aura dans la majorité des cas intérêt à utiliser des lits de charbon granulaire ayant une épaisseur de 1,5 à 2 mètres qu'il est possible de changer tous les 18 mois ou tous les deux ans, si le niveau de pollution est faible.

Nous allons ici résumer quelques-uns des avantages et des inconvénients du traitement sur charbon actif en grains et en poudre.

#### A. Avantages du traitement sur charbon actif en grains :

. Le charbon, si la zone de transfert dite de front d'adsorption n'est pas trop importante, est utilisé en équilibre avec la concentration en polluant à l'entrée et pour la zone de transfert à un taux intermédiaire entre celui de la concentration entrée et celui de la concentration sortie.

. Le charbon actif est régénérable, donc les dépenses sont limitées au coût intrinsèque de la régénération et de la quantité de charbon actif que l'on doit introduire pour compléter les pertes.

#### B. Inconvénients du traitement sur charbon actif en grains :

B.1. En présence de polluants variés, une sélection s'opère, sélection de deux types :

- Certains polluants sont fixés en plus grandes quantités que d'autres, et ont tendance à déplacer d'autres polluants ; c'est ainsi, par exemple, que les chlorophénols très bien adsorbés, auront tendance à se substituer aux détergents précédemment fixés, et, en fin de durée de vie par exemple, on pourra avoir en sortie plus de détergents qu'à l'entrée, la concentration de chlorophénols étant bien entendu toujours nulle. Un très large spectre de pores est indispensable ; les charbons à base de houille types GAC 40 ou GAC 30 sont remarquables à cet égard.
- Certains produits sont très adsorbés, mais à une vitesse extrêmement faible, le front d'adsorption théorique peut atteindre plusieurs mètres, c'est ainsi que des humates désorberont très lentement certains produits de taille plus faible qui auront été précédemment adsorbés ; ceci peut être le cas pour les chlorophénols cités ci-dessus.

B.2. Variation de concentration des polluants dans le temps. Les modifications, dans les concentrations en polluants, se traduisent une sorte d'onde de pollution qui sera plus ou moins écrêtée selon l'épaisseur de la couche de charbon.

Ce phénomène a été observé notamment durant la sécheresse de 1976.

### C. Avantages du traitement sur charbon actif en poudre :

C.1. Possibilités d'ajuster le taux de traitement à tout instant en fonction de la pollution à éliminer.

On peut envisager un système automatique de définition du taux de traitement en fonction de la qualité de l'eau que l'on désire préparer, le taux de traitement étant défini à partir de l'analyse en continu de l'eau à traiter, taux qui peut être déterminé par un programme automatique élaboré à partir de l'expérience du passé de l'unité.

La Société O.T.V. à Sisteron, a déjà élaboré un tel système pour la gestion d'unité de traitement biologique à eau résiduaire et rien n'interdit d'appliquer le même modèle à la gestion du traitement d'eau sur charbon actif.

C.2. Possibilités d'ajuster la qualité du charbon à la nature des produits à traiter.

On pourra utiliser, par exemple, un charbon possédant une microporosité importante mais avec une maximicroporosité faible, c'est-à-dire à fort indice d'iodé, mais à faible indice de mélasse, ceci tant que les produits à éliminer seront des détergents ou des chlorophénols et autres produits analogues. Le jour, où par contre, on aura des problèmes de géosmine ou de contamination jugés considérables d'acide humique on pourra travailler sur un charbon ayant un indice de mélasse plus élevé ou contrôlé sur cet indice.

### D. Inconvénients du charbon actif en poudre

Contrairement au cas du charbon en grains, le taux de chargement du charbon en poudre est celui qui est en équilibre avec la concentration en polluant après traitement. Il dépend très fortement de la pente de la droite isotherme et du pourcentage d'élimination en polluant que l'on désire obtenir. Si la quantité à éliminer est de l'ordre de 80%, la différence avec le charbon en grains est faible. Si on élimine entre 98 et 80% du produit initial, la différence est fortement liée à la pente de l'isotherme.

Pour des taux d'élimination supérieurs, l'utilisation du charbon en grains est en général préférable ; on ne doit pas négliger toutefois l'allongement du front d'adsorption qui en résulte.

.../...

DIVISION  
PRODUITS  
ADSORBANTS

# ACTICARBONE TK

CHARBON ACTIF EN POUDRE

## I. ORIGINE

Charbon végétal activé physiquement

## II. SPECIFICATIONS

|                          |       |   |    |
|--------------------------|-------|---|----|
| - Indice d'iode CECA     | >     | : | 85 |
| - Humidité à l'ensachage | max % | : | 15 |
| - Cendres                | max % | : | 12 |
| - Refus à 80 microns     | max % | : | 20 |

## III. CARACTERISTIQUES MOYENNES

|                              |                   |   |             |
|------------------------------|-------------------|---|-------------|
| - Indice d'iode CECA         | mg/g              | : | 90          |
| - Densité en place           | :                 | : | 0,45 ± 0,05 |
| - Surface BET                | m <sup>2</sup> /g | : | 750         |
| - Phénol selon indice Finad* | mg <              | : | 40          |

\*Quantité de charbon actif nécessaire pour abaisser sur 1 litre d'eau la teneur en phénol de 0,1 mg/l à 0,01 mg/l

CECA S.A.

DIVISION  
PRODUITS  
ADSORBANTS

# CHARBON ACTIF GRANULE ACTICARBONE GAC 30

## I. ORIGINE

Charbon actif préparé à partir de houille broyée, agglomérée, granulée et activée par la vapeur d'eau à haute température (900 - 1 000 °C)

## II. SPECIFICATIONS

|                                 |            |  |
|---------------------------------|------------|--|
| - Indice d'iode (1)             | min mg/g : | 900  |
| - Résistance à l'abrasion (2)   | min :      | 70   |
| - Humidité (3) à l'ensachage    | max % :    | 2  |
| - Diamètre moyen des particules | mm :       | 1,5 - 1,7  |
| - Granulométrie (4)             |            | : plus de 80 % compris entre les tamis n° 8 (2,38 mm) et 30 ASTM (0,59 mm) |
| : Supérieur à 2,38 mm           | max % :    | 15   |
| : Inférieur à 0,59 mm           | max % :    | 5  |

## III. CARACTERISTIQUES MOYENNES\*

|  |                   |                   |
|--|-------------------|-------------------|
| - Indice d'iode  | mg/g              | : 950             |
| - Résistance à l'abrasion                                |                   | : 80              |
| - Masse volumique apparente                              | kg/m <sup>3</sup> | : 510             |
| - Masse volumique en place après lavage à contre-courant | kg/m <sup>3</sup> | : 430             |
| - Diamètre effectif                                      | mm                | : 0,85            |
| - Coefficient d'uniformité                               |                   | : 2,1 ou moins    |
| - Surface spécifique BET                                 | m <sup>2</sup> /g | : 900 à 1 000     |
| - Perte de charge et propriétés hydrauliques             |                   | : (voir au verso) |

## IV. UTILISATION

Élimination de toutes sortes de molécules organiques dans les eaux résiduaires ou de consommation.

La granulométrie et la dureté du GAC 30 en font un matériau de choix pour le remplissage des filtres. Facile à laver à contre-courant, ce charbon actif supporte les transports hydrauliques aussi bien que la régénération thermique avec le minimum de perte.

(1) Méthode AWWA B 600-78

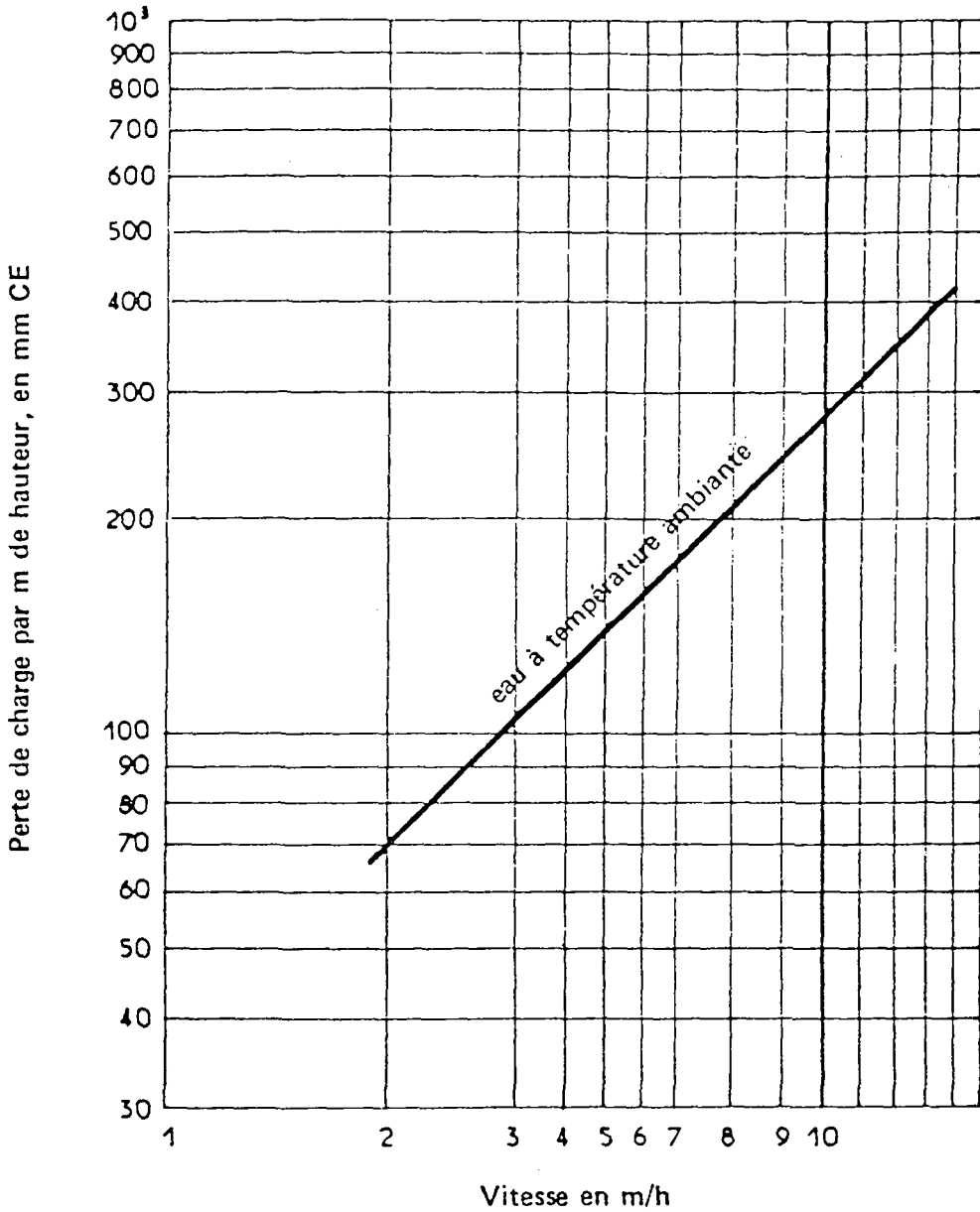
(2) ANSI/ASTM D 3.802-79

(3) ASTM D 2.867-70

(4) ASTM D 2.862-67

### PROPRIETES HYDRAULIQUES GAC 30

Perte de charge



Pourcentage d'expansion en fonction de la vitesse de soulèvement pour une eau à 20 °C

| Vitesse en m/h | Pourcentage d'expansion % |
|----------------|---------------------------|
| 15             | 3                         |
| 20             | 7                         |
| 25             | 11                        |
| 30             | 15                        |
| 35             | 21                        |
| 40             | 30                        |

**ATTENTION** – Le charbon actif humide diminue la teneur en oxygène de l'air.  
Lorsque des travailleurs doivent rentrer dans un adsorbant contenant du charbon humide, une basse teneur en oxygène peut être rencontrée.  
Un échantillon de l'atmosphère doit être prélevé et si la teneur est faible, une procédure spéciale de travail doit être mise en oeuvre.

DIVISION  
PRODUITS  
ADSORBANTS

# CHARBON ACTIF GRANULE ACTICARBONE GAC 40

## I. ORIGINE

Charbon actif préparé à partir de houille broyée, agglomérée, granulée et activée par la vapeur d'eau à haute température (900 - 1 000 °C)

## II. SPECIFICATIONS

|                                 |           |   |
|---------------------------------|-----------|---|
| - Indice d'iode (1)             | min mg/g: | 1 000   |
| - Résistance à l'abrasion (2)   | min :     | 75  |
| - Humidité (3) à l'ensachage    | max % :   | 2   |
| - Diamètre moyen des particules | mm :      | 0,9 à 1,1   |
| - Granulométrie (4)             | :         | plus de 90 % compris entre les tamis n° 12 (1,7 mm) et 40 ASTM (0,425 mm) |
| . Supérieur à 1,7 mm            | max % :   | 5   |
| . Inférieur à 0,425 mm          | max % :   | 5   |

## III. CARACTERISTIQUES MOYENNES\*

|  |                     |                 |
|--|---------------------|-----------------|
| - Indice d'iode  | mg/g :              | 1 050           |
| - Résistance à l'abrasion                                | :                   | 80              |
| - Masse volumique apparente                              | kg/m <sup>3</sup> : | 470             |
| - Masse volumique en place après lavage à contre-courant | kg/m <sup>3</sup> : | 400             |
| - Diamètre effectif                                      | mm :                | 0,60            |
| - Coefficient d'uniformité                               | :                   | 1,90 ou moins   |
| - Surface spécifique BET                                 | m <sup>2</sup> /g : | 1 000 à 1 100   |
| - Perte de charge et propriétés hydrauliques             | :                   | (voir au verso) |

## IV. UTILISATION

Elimination de toutes sortes de molécules organiques dans les eaux résiduaires ou de consommation.

La granulométrie et la dureté du GAC 40 en font un matériau de choix pour le remplissage des filtres. Facile à laver à contre-courant, ce charbon actif supporte les transports hydrauliques aussi bien que la régénération thermique avec le minimum de perte.

(1) Méthode AWWA B 600-78

(2) ANSI/ASTM D 3.802-79

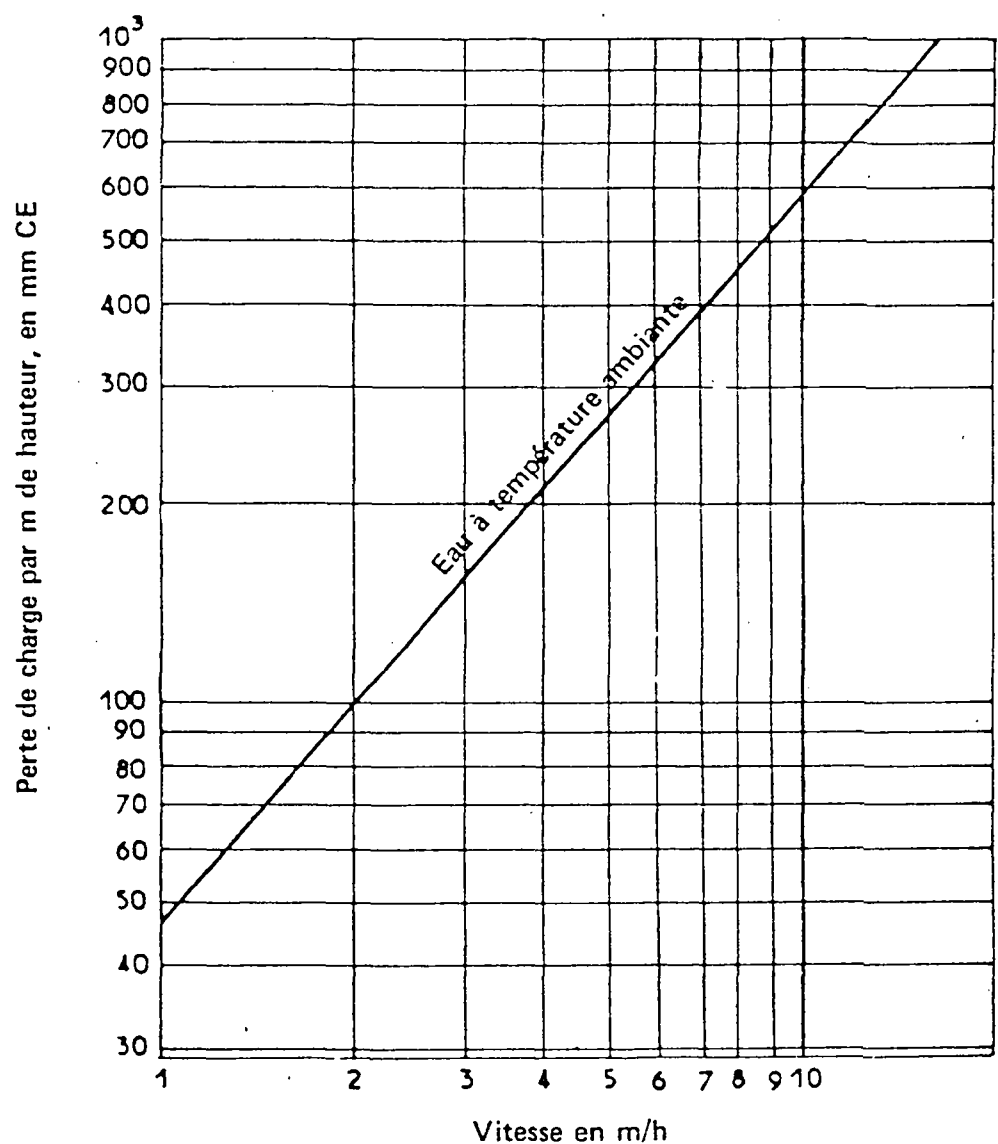
(3) ASTM D 2.867-70

(4) ASTM D 2.862-67



# PROPRIETES HYDRAULIQUES GAC 40

## Perte de charge



Pourcentage d'expansion en fonction de la vitesse de soulèvement pour une eau à 20 °C

| Vitesse en m/h | Pourcentage d'expansion % |
|----------------|---------------------------|
| 10             | 5                         |
| 15             | 10                        |
| 20             | 18                        |
| 25             | 30                        |
| 30             | 45                        |

**ATTENTION** – Le charbon actif humide diminue la teneur en oxygène de l'air.  
 Lorsque des travailleurs doivent rentrer dans un adsorbant contenant du charbon humide, une basse teneur en oxygène peut être rencontrée.  
 Un échantillon de l'atmosphère doit être prélevé et si la teneur est faible, une procédure spéciale de travail doit être mise en oeuvre.

CECA S.A.

DIVISION  
PRODUITS  
ADSORBANTS

## ACTICARBONE BGP

1,25 à 3,00 mm

0,50 à 2,00 mm

CHARBON ACTIF EN GRAINS

## I. ORIGINE

Charbon de bois de pin activé physiquement

## II. SPECIFICATIONS

|                                |       |   |    |
|--------------------------------|-------|---|----|
| - Indice d'iode                | >     | : | 85 |
| - Humidité à l'ensachage       | max % | : | 10 |
| - Cendres                      | max % | : | 5  |
| - Granulométrie du 0,5-2 mm :  |       |   |    |
| . < 0,5 mm                     | max % | : | 5  |
| . > 2,0 mm                     | max % | : | 2  |
| - Granulométrie du 1,25-3 mm : |       |   |    |
| . < 1,25 mm                    | max % | : | 5  |
| . > 3,15 mm                    | max % | : | 5  |

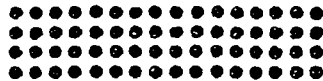
## III. CARACTERISTIQUES MOYENNES

|                                   |   |                              |
|-----------------------------------|---|------------------------------|
| - Densité tassé sur sec           | : | 230 kg/m <sup>3</sup> ± 10 % |
| - Surface BET                     | : | 750 m <sup>2</sup> /g        |
| - Diamètre moyen des pores        | : | 30 Å                         |
| - Indice d'iode                   | : | 85 - 100                     |
| - Longueur de demi-déchloration : |   |                              |
| . 1,25 - 3 mm                     | : | 8 cm                         |
| . 0,50 - 2 mm                     | : | 2,5 cm                       |

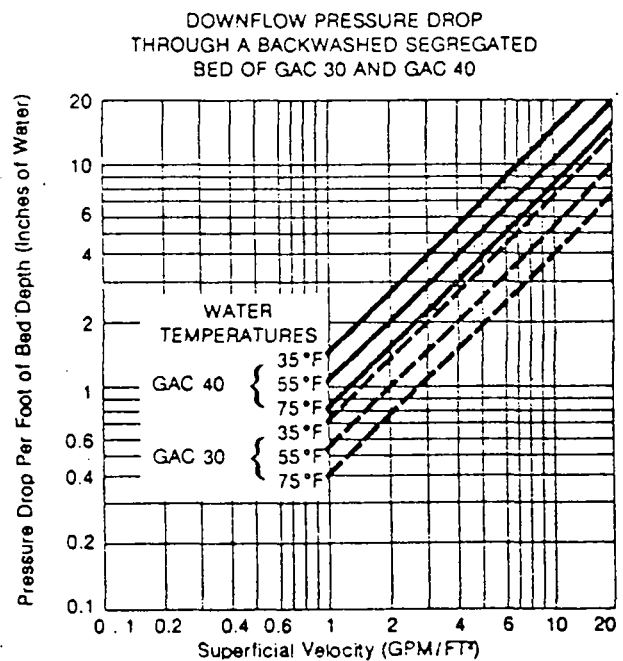
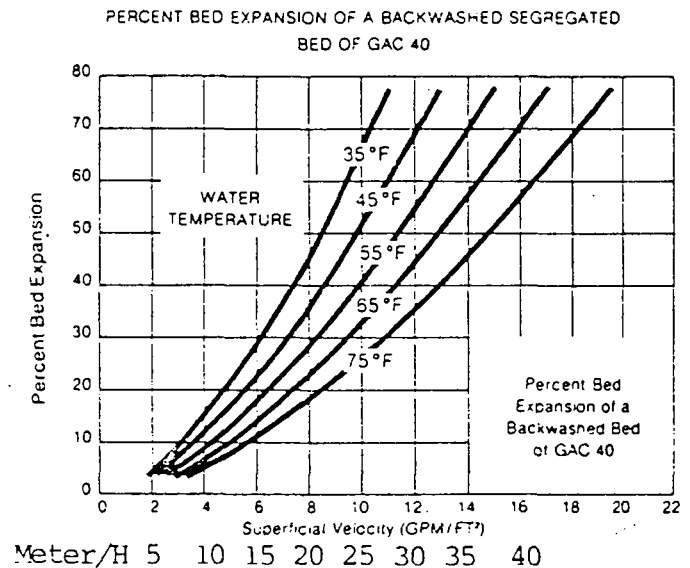
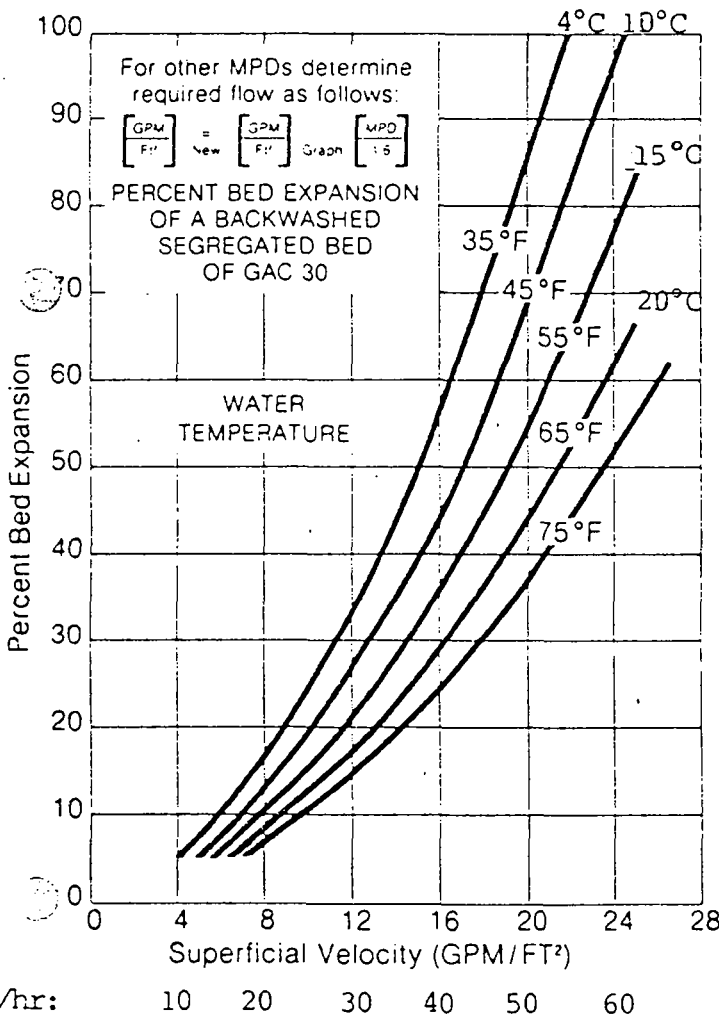
## IV. CARACTERISTIQUES HYDRAULIQUES DU BGP

|  | 0,5 - 2,0 mm | 1,25 - 3,15 mm |
|--|--------------|----------------|
| Perte de charge à 6 m/h exprimée en mm CE par m de couche* | 60           | 40             |
| Taux d'expansion à 12 m/h exprimé en % :                   | 25           | 20             |
| Diamètre effectif en mm :                                  | 0,95         | 1,5            |
| Coefficient d'uniformité :                                 | 1,6          | 1,5            |

\*C.E. : colonne d'eau



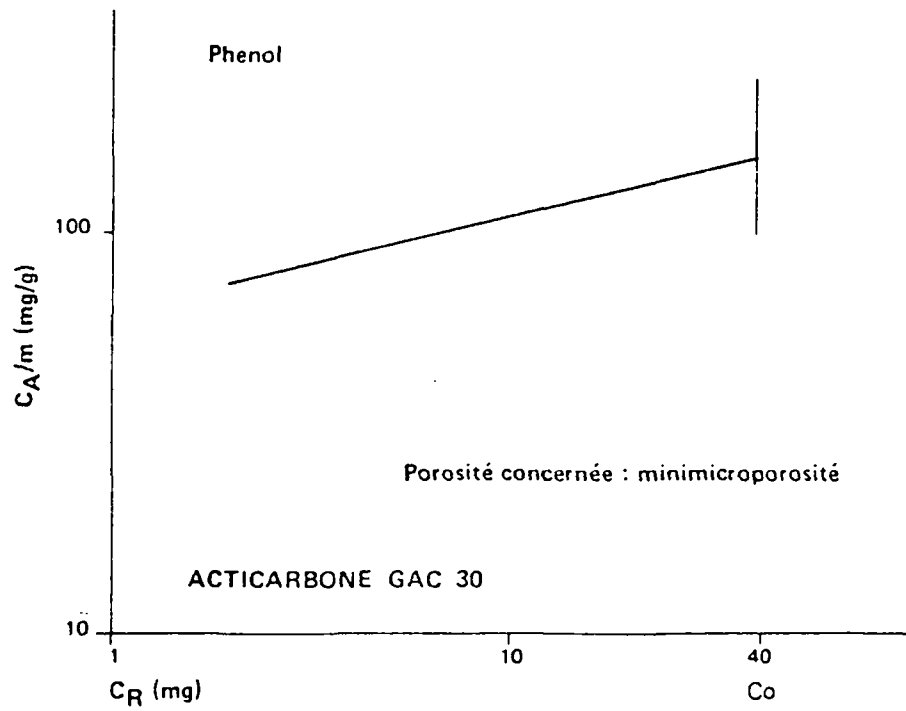
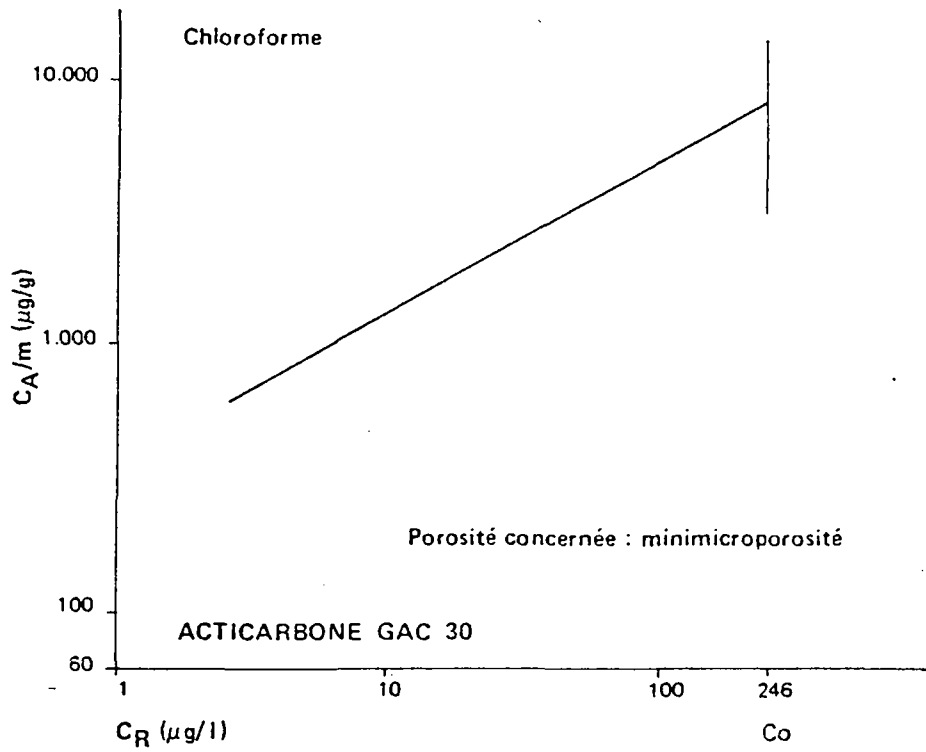
### Technical Information . . . . . Liquid Phase

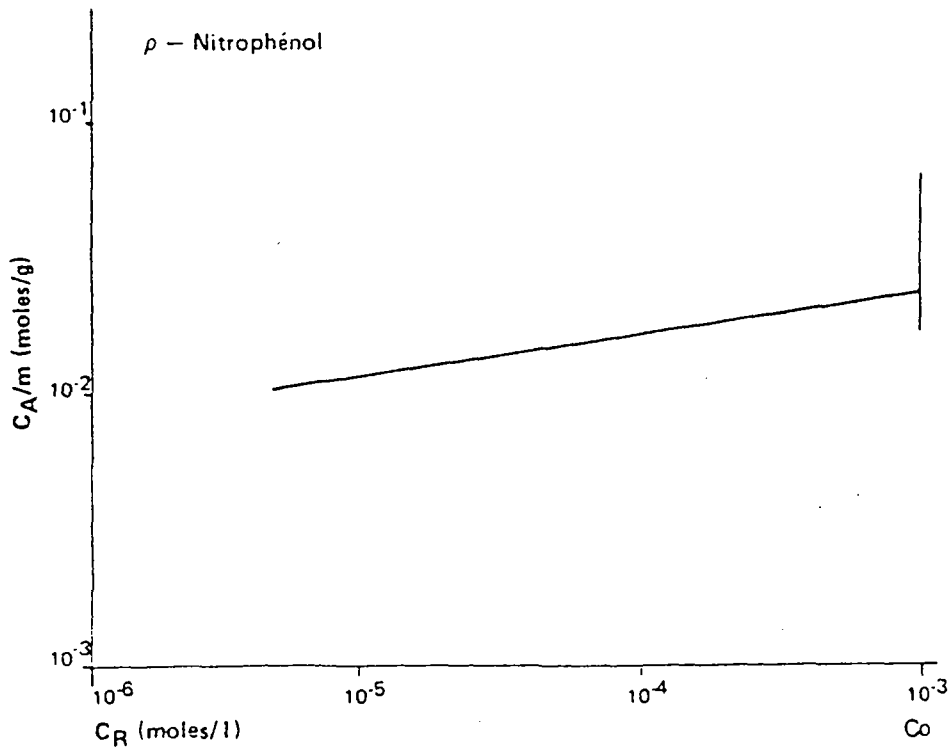
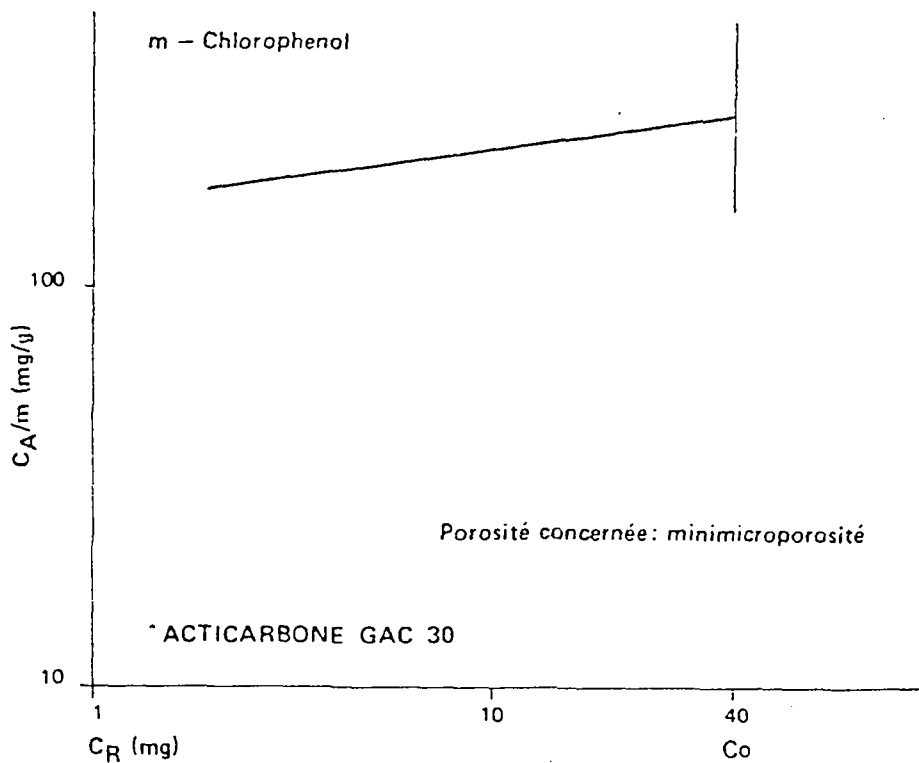


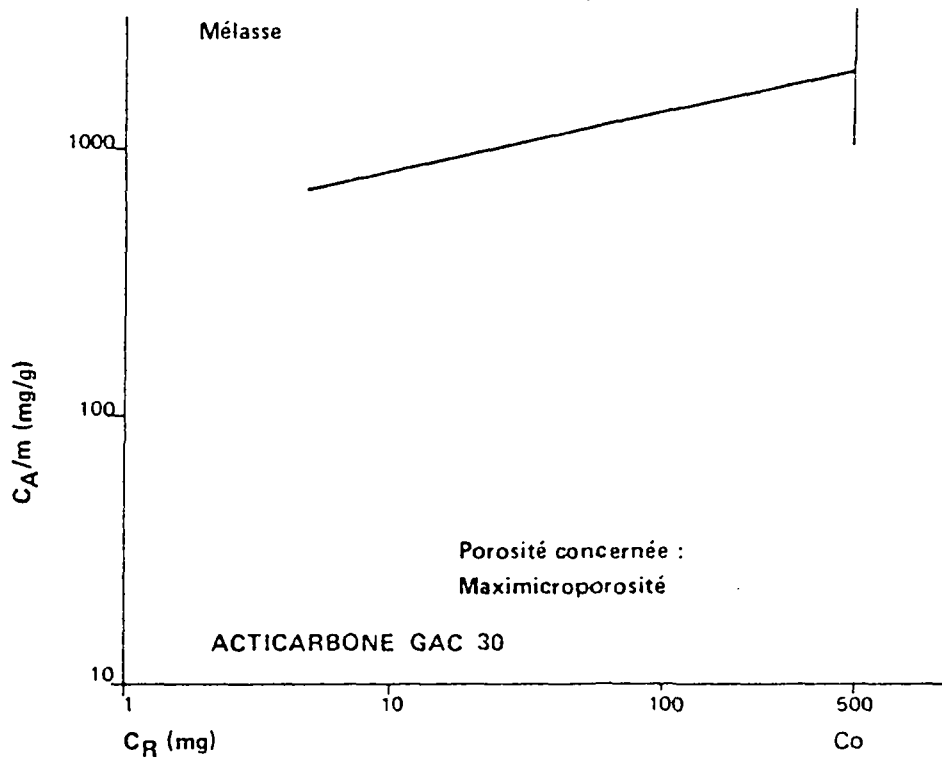
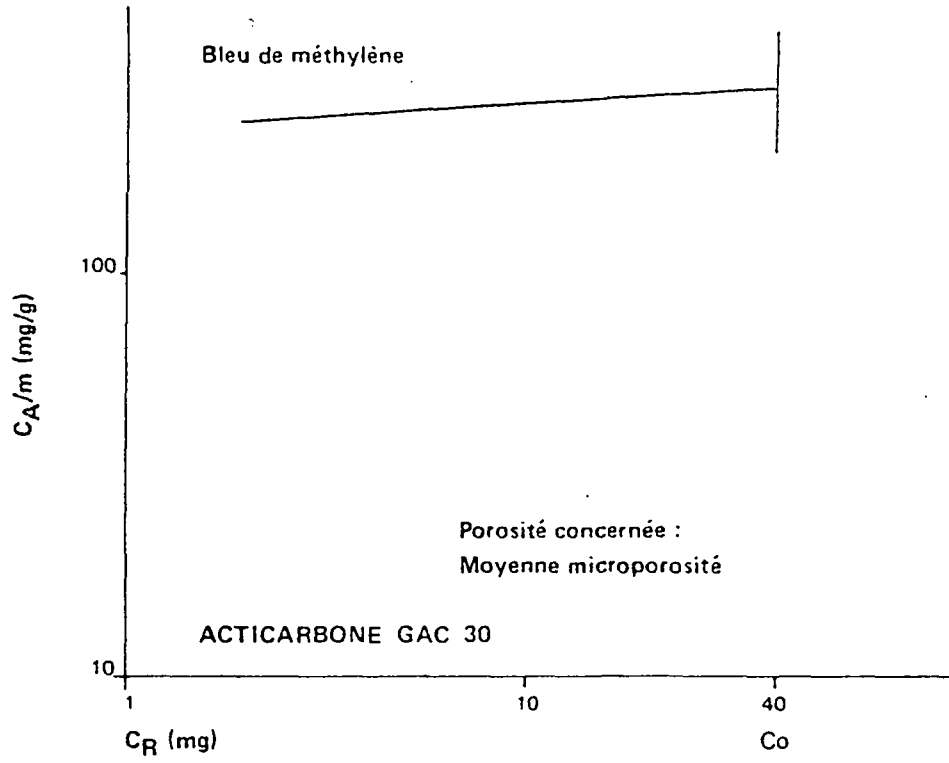
#### Caution: Wet Activated Carbon Depletes Oxygen from Air.

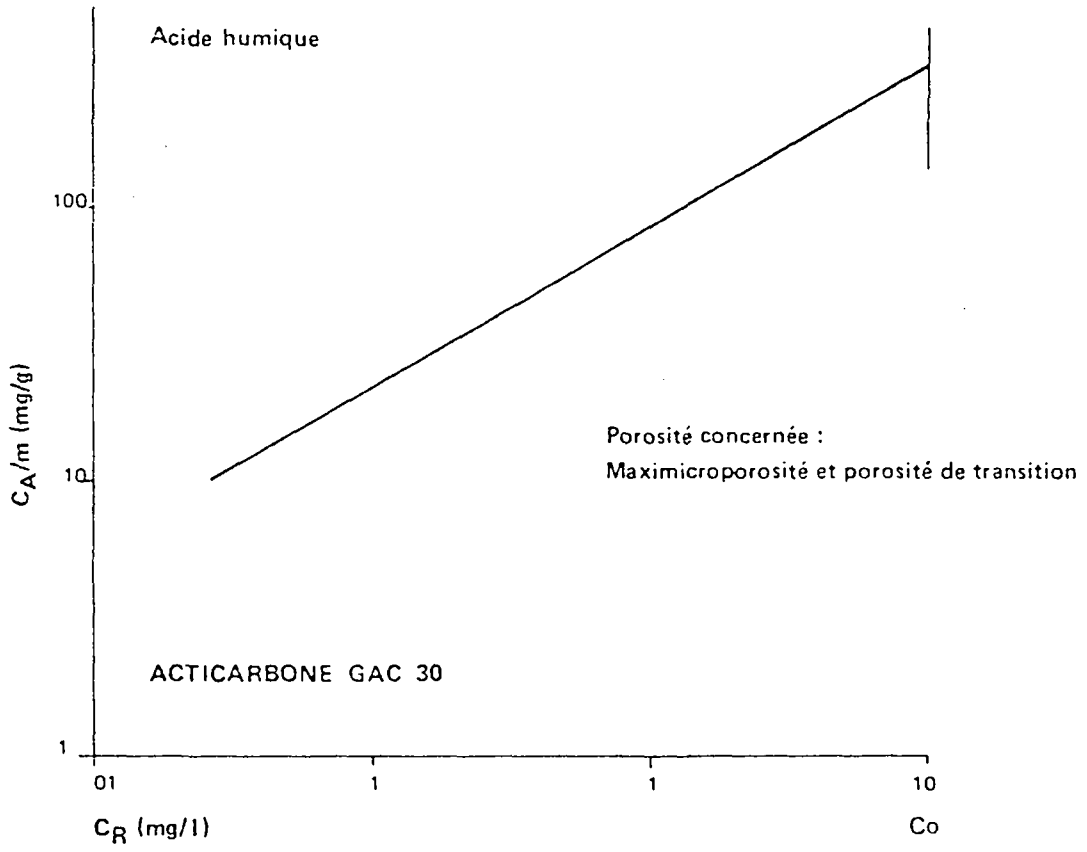
Whenever workers enter a vessel containing carbon, all precautions must be taken since dangerously low levels of oxygen may be encountered. Atmosphere sampling and work procedures for potentially low oxygen areas should be followed.

### QUELQUES EXEMPLES D'ISOTHERME D'ADSORPTION SUR CHARBON ACTIF A BASE DE HOUILLE COMPACTEE









## Conclusion partielle

Dans le cas de traitement d'eau potable, il faut rappeler que la régénération du charbon actif, pour des questions de coût, ne s'effectue jamais sur place ; ce coût d'ailleurs est du même ordre que celui du charbon en poudre, soit de 2,5 à 5 F le kg.

Les taux pratiqués de chargement étant sensiblement les mêmes, dans la majorité des cas, le choix entre un procédé ou l'autre sera fonction essentiellement de la composition de la charge polluante et de sa variation dans le temps : une faible variation avantage le traitement en grains et une forte variation, le traitement en poudre.

Bien entendu, la solution de loin la meilleure est de combiner les deux traitements. C'est d'ailleurs cette formule qui a été retenue dans les nouvelles unités d'eau potable traitant l'eau de Seine.

Un problème qui subsiste est de fixer à partir de quel taux de pollution, on décide de prétraiter au charbon actif en poudre. Actuellement, la tendance est de privilégier le traitement sur charbon en grains en réservant le charbon en poudre pour les cas de pollution accidentelle ou les pointes de pollution saisonnières.

Cette manière de faire est certainement la meilleure, si on se propose uniquement d'éliminer essentiellement les mauvais goûts et les mauvaises odeurs. Si, par contre, on se propose d'éliminer une proportion plus importante des détergents et surtout des dérivés halogénés, un prétraitement au charbon en poudre devient nécessaire. On éviterait par ailleurs, des relargages intempestifs provenant des lits granulaires. En effet, une colonne de charbon agit vis-à-vis des différents polluants comme une colonne de chromatographie.

## 6. Exemples de traitement d'eau potable :

**Eau superficielle moyennement polluée, cas de la Ville de Paris.**

Le but du traitement est double :

- a) Fournir une eau ayant des qualités organoleptiques satisfaisantes,
- b) Eliminer le maximum de détergents et de chlorophénols.

Pour obtenir ce but, une injection de charbon actif est faite en tête du décanteur à vitesse accélérée. Le temps de contact entre l'eau et le charbon varie entre 30 et 40 minutes. Le charbon est éliminé tant dans les boues que sur les filtres à sable.

On a choisi un charbon polyvalent constitué par un mélange de charbon à indice de mélasse moyen et de charbon à fort indice d'iode (Acticarbone TK).



Les doses d'emploi varient entre 5 et 25 grammes par m<sup>3</sup>. Lors de la sécheresse de 1976, malgré une très forte augmentation de la pollution et de la prolifération d'algues comme la géosmine, la qualité de l'eau a pu être maintenue à un niveau acceptable avec une dose de traitement portée, il est vrai, à 40 g/m<sup>3</sup>.

**Eau superficielle provenant d'un oued Afrique du Nord - cas de Casablanca.**

Il s'agit là d'une eau polluée surtout en période de basses eaux, contenant notamment des quantités importantes de géosmines qui donnent à l'eau un goût de moisi particulièrement désagréable. Le choix s'est donc orienté tout naturellement vers un charbon ayant une maximicroporosité relativement développée, c'est-à-dire caractérisée par son indice de mélasses. Il s'agit d'un charbon préparé à partir de bois de pin à activigé moyenne (Acticarbone S 45).

**Eau superficielle traitée sur un lit de charbon actif granulaire à base de houille - eau de rivière Amérique du Nord.**

|  |   |
|--|---|
| But du traitement  | : élimination de goût et d'odeur, diminution de la turbidité. |
| Hauteur de couche  | : 760 mm  |
| Surface du filtre  | : 16,6 m <sup>2</sup>   |
| Volume de charbon en place après lavage à contre courant | : 12,6 m <sup>3</sup>   |
| Poids de charbon en place                                | : 5 450 kgs (GAC 30)  |
| Débit horaire d'eau                                      | : 160 m <sup>3</sup> /h                                       |
| Vitesse de passage                                       | : 9,5 m/h   |
| Temps de contact   | : 5 min   |

Fréquence de lavage à contre-courant : 72 h contre 40 h pour le filtre à sable mis en place parallèlement.

L'eau traitée était une eau de rivière préalablement chlorée et floculée qui, après passage sur charbon, ne présentait ni goût, ni odeur.

**Eau superficielle moyennement polluée - cas de Morsang -**

Cette fois-ci, on a mis en place une double filtration. 1er étage sur sable, 2ème étage dit de finition, sur un lit de charbon actif à granulation contrôlée. Le but du 2ème étage est d'une part, de compléter la première filtration, d'autre part d'éliminer les goût et odeur. Un traitement sur charbon actif a été prévu en tête des décanteurs pour éliminer toute pollution accidentelle, ainsi que les pointes de pollution saisonnières. Par ailleurs, si nécessaire, un traitement en continu pourrait être envisagé pour éliminer une partie des haloformes, des détergents, etc.

On doit noter d'ailleurs que lorsqu'il s'agit d'éliminer des mauvais goûts et des mauvaises odeurs, le charbon en grains donne d'excellents résultats.

Les conditions d'emploi sont les suivantes :

- . Hauteur de couche : 130 cm
- . Temps de contact : 10 mn
- . Vitesse de passage : 8 m/h (13 cm/mn).

La durée de vie d'un tel lit est fonction non seulement de la pollution, mais aussi de ce que l'on souhaite éliminer.

#### **Eau superficielle fortement polluée - Cas de la ville de Düsseldorf.**

Les eaux brutes proviennent des sables alluvionnaires des bord du Rhin. L'eau qui a percolé à travers ce sable a déjà perdu 50% de ses contaminants par biodégradation.

L'eau subit une oxydation à l'ozone, puis est filtrée sur filtres fermés à deux étages superposés (voir schéma). La couche filtrante supérieure est constituée par du charbon actif en grains "mort", car recouvert d'un dépôt de fer et de manganèse. Il n'intervient que comme filtre mécanique et ne subit aucune régénération.

La couche filtrante inférieure d'une hauteur de 2.50 m sert à la purification par adsorption. Chaque filtre contient 50 m<sup>3</sup> de charbon actif en grains et sera régénéré thermiquement sur place dans un four à lit fluidisé deux fois par an en moyenne (après avoir traité 13.000 volumes d'eau). Le détassage par lavage à contrecourant, ne se fait qu'une fois par mois.

La vitesse de filtration est de l'ordre de 12-15 m/h et le temps de contact varie entre 12 et 15 mn.

Au départ, le charbon actif utilisé était du type GAC 30 avec une granulométrie de 0.6-2.4 mm. Depuis deux ans, cette usine a adopté le GAC 40 avec une granulométrie de 0.4-1.6 mm qui a donné une augmentation de la durée de vie de 20-25%.

On voit ici l'impact de la granulométrie sur la cinétique d'adsorption, d'une part, et sur la profondeur du front d'onde d'autre part.

#### **Déchloration des eaux dans l'industrie des boissons gazeuses.**

L'eau du réseau contient, pour éviter tout risque d'infection, une dose résiduelle de chlore libre qu'il est nécessaire d'éliminer lors de la fabrication des boissons gazeuses. La déchloration s'effectue sur un charbon actif microporeux, comme le charbon actif à base minérale de type GAC 40 S ou GAC 30 S, avec une hauteur de couche de 150 cm et une vitesse de passage de 15 m/h.

Il est possible de déchlorer l'eau durant plusieurs années.

Deux précautions sont nécessaires : stériliser à la vapeur le lit de charbon quand c'est utile, travailler à pH neutre ou légèrement acide. Lorsqu'on traite des eaux neutralisées à la chaux, la durée de vie du charbon actif est fortement abrégée.

## 7. Exemples de traitement d'eau résiduaire

### A) Traitement sur charbon en grains

Les cas de traitement sont très divers et doivent être adaptés pour chaque cas particulier. Il est indispensable que s'établisse une étroite collaboration entre l'utilisateur, l'engineering et le fabricant de charbon actif.

Dans le cas de traitement secondaire, l'utilisation du charbon actif se limite à des cas de pollutions très particuliers, qu'il s'agisse d'effluents particulièrement toxiques ou non biodégradables, ce qui est d'ailleurs souvent concomitant.

La consommation de charbon nécessite en général de prévoir la régénération périodique du charbon. Cette régénération peut se faire hors du site, en général chez un fabricant de charbon actif, soit au contraire sur le site lui-même, l'utilisateur du charbon procédant à la régénération du charbon.

Le charbon actif en grains est utilisé aussi en traitement tertiaire derrière une unité biologique. Le charbon élimine alors les produits non biodégradables ; c'est ainsi que dans l'Est de la France (Sollac), des effluents de cokeries renfermant des polyphénols, pas ou mal biodégradés, ont été traités sur charbon granulé avant rejet. Il est primordial que le fonctionnement du biologique soit parfait pour éliminer le maximum de produit biodégradable, ce type de traitement étant bien évidemment moins coûteux au kg de produit éliminé que l'élimination sur charbon actif.

### Exemple pratique de traitement d'eau résiduaire sur charbon actif à base de houille

|                                  |                      |                             |
|----------------------------------|----------------------|-----------------------------|
| Caractéristiques de la colonne : | diamètre             | 2 200 mm                    |
|                                  | hauteur              | 1 500 mm                    |
|                                  | Volume d'Acticarbone |                             |
|                                  | GAC 30               | 5,7 m <sup>3</sup> (1700kg) |

#### Caractéristiques de l'effluent :

|                             |                                  |
|-----------------------------|----------------------------------|
| Carbone total               | : 13 à 25                        |
| Demande chimique en oxygène | : 40 à 85                        |
| Débit horaire               | : 16 m <sup>3</sup> /h           |
| Temps de passage            | : 14 mn                          |
| Durée du test               | : 3 mois                         |
| Quantité d'eau traitée      | : 35 000 m <sup>3</sup>          |
| Kg de DCO entré             | : 1 700 kg -fixé : 537 soit 30,6 |

|                                   |                                   |
|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Taux de chargement sur le charbon | : 31,6 kg                         |
| kg de TOC entré                   | : 597 kg-fixé : 172 soit<br>28,9% |
| Taux de chargement sur le charbon | : 10,2%                           |

Une utilisation plus originale est l'utilisation du charbon actif en grains comme support de lit bactérien. Le charbon actif présente, par rapport aux autres supports utilisés, la faculté de stocker des pointes de pollution et des toxiques facilitant ainsi le fonctionnement régulier du système.

Une application peu souvent mentionnée est l'utilisation d'un lit de charbon granulaire dans une boucle de recyclage. Le charbon actif permet le maintien de la qualité de l'eau dans la boucle, en éliminant, soit des colorants, soit des additifs, soit des produits de condensation. Ce procédé est utilisé en galvanoplastie dans la récupération de l'argent, dans les bains photographiques, dans les retours de condensats.

#### **B) Traitement des eaux résiduaires sur charbon en poudre**

Le traitement secondaire d'eau résiduaire sur charbon actif est peu fréquent en Europe, tout au moins, car les quantités mises en oeuvre nécessiteront de prévoir une régénération, opération qui n'a pas encore été entreprise en Europe, contrairement aux Etats-Unis.

Actuellement, le charbon en poudre est utilisé en recyclage, retour de condensat, bains électrolytiques, etc.

On peut citer aussi, l'utilisation du charbon actif dans le traitement d'eaux résiduaires très fortement concentrées, eaux résiduaires, dans lesquelles, on récupère des sous-produits. Cette récupération nécessite d'avoir éliminé complètement les impuretés organiques. Le traitement choisi par La COGEMA se fait par double bain : le charbon utilisé en épuration finale étant récupéré pour le traitement dans le premier bain. On a pu ainsi maintenir la consommation du charbon actif fortement activé à un niveau acceptable, tout en ayant une excellente purification (Acticarbone 2S).

Une nouvelle application en Europe, mais déjà largement utilisée aux USA, consiste à utiliser le charbon actif en poudre comme additif au traitement biologique.

Les améliorations recherchées peuvent être :

- Eliminer la mousse dans les aérateurs, qui, à l'inverse des antimousses habituels, n'augmente pas la charge de DBO à traiter ;
- Améliorer le niveau d'épuration de l'eau et la rendre ainsi conforme aux normes en période de surcharge,
- Permettre à une unité biologique d'encaisser des produits toxiques qui devaient être éliminés par une autre voie ;
- Améliorer la qualité des boues en diminuant leur volume, surtout avant pressage ;

- Améliorer la qualité de l'eau sur un point spécifique couleur ou odeur.

Des essais industriels sous l'égide des agences de bassin ont été réalisés. Ils ont permis de montrer que des résultats très significatifs ont été obtenus avec des doses de l'ordre de  $50 \text{ mg/m}^3$ , notamment en ce qui concerne l'élimination des mousses et indirectement des matières en suspension. La qualité du pressage des boues s'est trouvée augmentée.

On peut ajouter une mention spéciale pour l'élimination des mauvaises odeurs provenant des stations résiduaires. Un charbon actif imprégné avec des sels de fer piège efficacement tant l' $\text{H}_2\text{S}$  que les mercaptans contenus dans l'air, provenant des aérateurs.

#### 8. Régénération du charbon actif en grains :

Dans le cadre du traitement d'eau potable, la seule méthode possible, est la réactivation thermique dans un four qui pourra être du type, tournant, à soles multiples, ou à lit fluidisé.

Dans certains cas de traitement d'eaux résiduaires, on a pu réaliser des régénérations chimiques, au moyen de solutions de soude caustique ou de solvants appropriés. Ces cycles de régénération chimiques ont permis d'espacer considérablement les cycles de régénération thermique.

Le but de la régénération est soit :

- de désorber par élution les polluants organiques fixés dans la structure poreuse (cas de la régénération chimique),
- de distiller puis d'oxyder les polluants organiques fixés (cas du four de réactivation).

Dans tous les cas, on cherche à récupérer la capacité d'adsorption du charbon actif neuf.

#### Réactivation thermique :

Lors du passage à travers le four, le charbon actif passe par trois étapes essentielles :

- a) Séchage : l'eau interstitielle et intraporeuse est évaporée ( $100-200^\circ\text{C}$ )
- b) Distillation : les matières organiques volatiles s'évaporent et il en est de même des produits distillables ( $200-400^\circ\text{C}$ ).
- c) Pyrolyse : les matières organiques sont carbonisées ( $500-600^\circ\text{C}$ )
- d) Oxydation : les substances carbonées sont transformées en  $\text{CO}_2+\text{H}_2\text{O}$  (vers  $700-950^\circ\text{C}$ ).

Dans tous les cas, en fin de processus, la structure poreuse est retrouvée prête à fonctionner.

A noter, toutefois, que la structure poreuse subit, en général une légère modification : il y a un déplacement des micropores vers les pores plus larges, entraînant une augmentation des mésopores et des macropores. Ceci se remarque lors de la lecture des indices de bleu et de mélasse, qui tendent à s'accroître alors que l'indice d'iode a une tendance à décroître.

Il importe de bien contrôler la teneur de l'oxygène dans les gaz de combustion : une insuffisance conduira à une sous-réactivation ; un excès conduira à brûler inutilement le réseau carboné du charbon actif. Le charbon deviendra friable, ses pertes augmenteront et sa densité s'abaissera.

A cet égard, le contrôle de la densité du charbon actif régénéré est une méthode simple et efficace pour contrôler la qualité de la régénération. On cherche à retrouver la densité apparente du charbon neuf.

Perte de régénération :

Elles sont inévitables et se situent selon le type de four et la pratique des opérateurs entre 5 et 15% dans le cas du traitement d'eau.

Egalement, le taux de pertes sera plus important lorsque la réactivation se pratique en dehors de la station de traitement d'eau, car les manipulations mécaniques liées au chargement et au déchargement des camions citernes qui transportent le charbon actif provoquent un surcroît de pertes mécaniques par attrition.

Types de four de réactivation :

3 types principaux :

- a) Fours tournant
- b) Fours à soles multiples
- c) Fours à lits fluidisés

*Four à tambour rotatif :*

Ce four est en fait un cylindre garni de réfractaires, mu par galets, légèrement incliné, pour favoriser l'écoulement du charbon.

Dans un tel type de four, la circulation des gaz de combustion et du charbon actif se fait le plus souvent à contre-courant.

De tels fours présentent, comme principal avantage, une relative simplicité, mais ils ont comme inconvénients majeurs :

- Un volume important,
- Une grande inertie au démarrage,
- Une grande inertie en fonctionnement,
- Un contrôle peu aisé de la température, d'où un dérèglement éventuel.

Seule une installation sophistiquée et élaborée peut prétendre, avec une main-d'oeuvre qualifiée, descendre en dessous de 10% de pertes.

Ces fours sont utilisés par certains fabricants de charbon actif, où tous les moyens et la surveillance sont mis en oeuvre, tant au niveau de l'instrumentation qu'au niveau du personnel.

La température à l'intérieur d'un tel four se situe généralement aux alentours de 950°C.

*Four à soles multiples ou four à étages :*

Ces fours sont constitués de plusieurs étages fixes, au centre desquels un arbre tournant muni de bras provoque par raclage à l'aide de peignes orientés, le déplacement du charbon actif de l'étage supérieur vers l'étage inférieur, tantôt par le centre, tantôt par la périphérie. Dans de tels fours, le charbon actif est donc introduit à la partie supérieure ; il se sèche progressivement le long des différents étages par contact à contre-courant, avec les gaz chauds, issus de l'avant dernier étage où il est réactivé.

La continuité dans ce type de four et la progressivité du gradient de température constituent un de ses principaux avantages sur le four à tambour rotatif.

Le passage très progressif du séchage à la réactivation provoque une pyrolyse efficace des matières de moins en moins volatiles.

Ces fours sont donc thermiquement plus fiables que les précédents, leur encombrement est réduit, la régulation de température est plus aisée ; on peut la réaliser comme dans le cas précédent, par adjonction de vapeur, par réglage au niveau du brûleur, ou par variation du débit de charbon actif.

La qualité du charbon actif réactivé dans un tel type de four est supérieure à celle obtenue dans un four à tambour rotatif, mais il est difficile de faire descendre les pertes en charbon actif en dessous de la limite de 10%, sauf dans le cas d'installations optimisées où les pertes peuvent atteindre exceptionnellement 5%.

*Four à lit fluidisé :*

Des recherches ont été entreprises dans le domaine de la réactivation, en vue de l'obtention :

- d'un optimum dans l'échange de chaleur, et l'élimination de l'adsorbat,
- d'un spectre de temps de séjour relativement étroit (toutes les particules ont sensiblement le même temps de résidence dans le four) ;
- d'un traitement mécanique relativement doux du charbon actif.

Ces recherches nous ont conduit à développer un autre type de four basé sur un principe ancien : le four à lit fluidisé.

Le four à lit fluidisé est basé sur le principe suivant : les gaz de combustion issus d'un brûleur, sont introduits par la base au travers d'un plancher ou d'une grille dans le four de réactivation proprement dit où ils fluidisent un lit, le charbon actif sur leur passage brûlant les impuretés organiques.

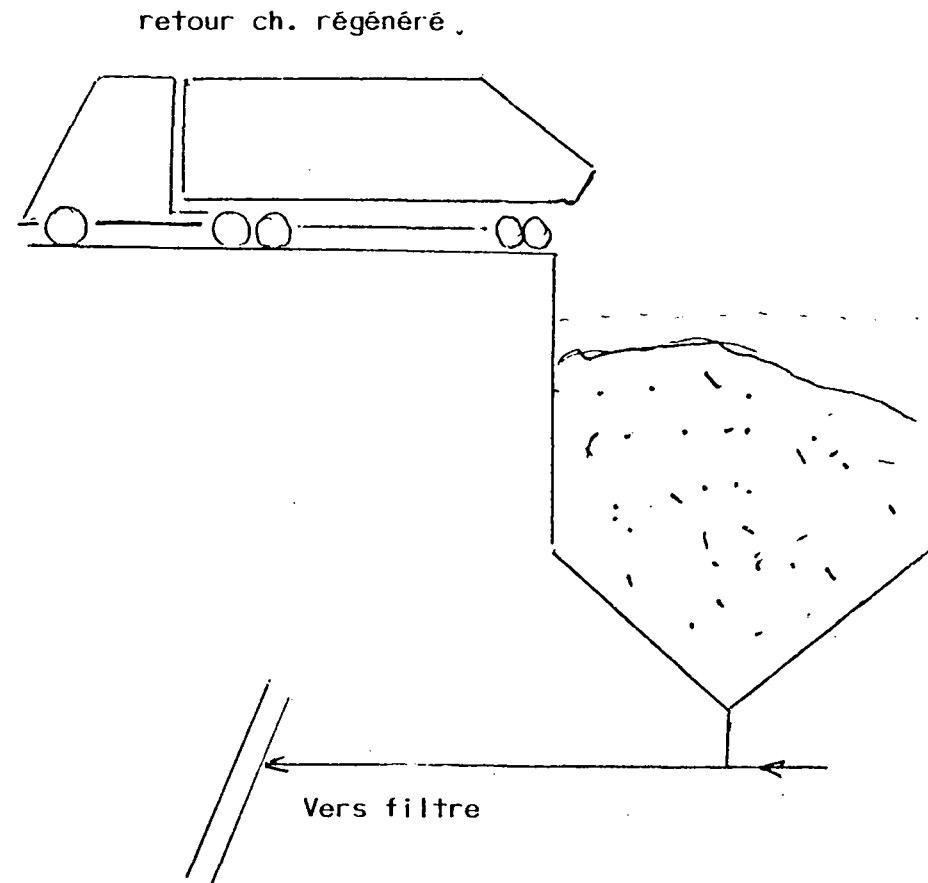
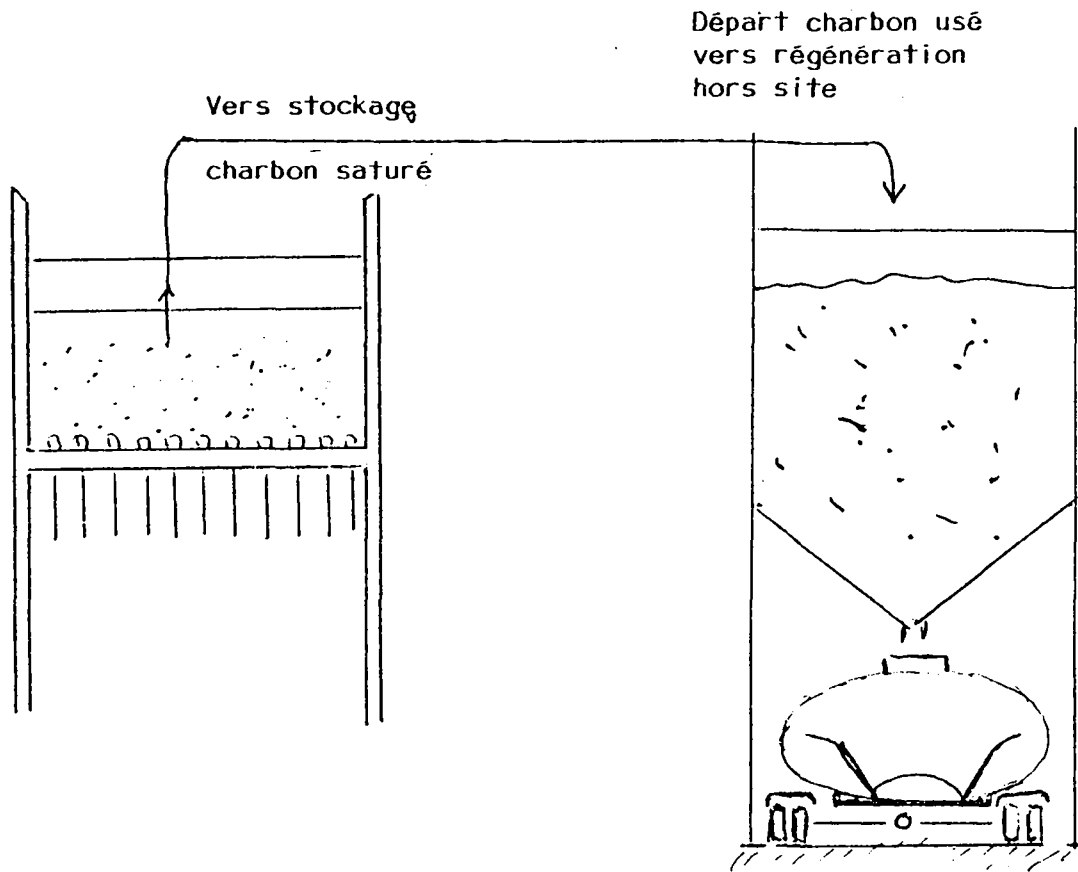
Ces fours présentent les avantages connus des fours à lit fluidisé ; ils sont peu encombrants, d'un prix raisonnable et ne comportent pas de partie mécanique en mouvement.

Dans un four à lit fluidisé :

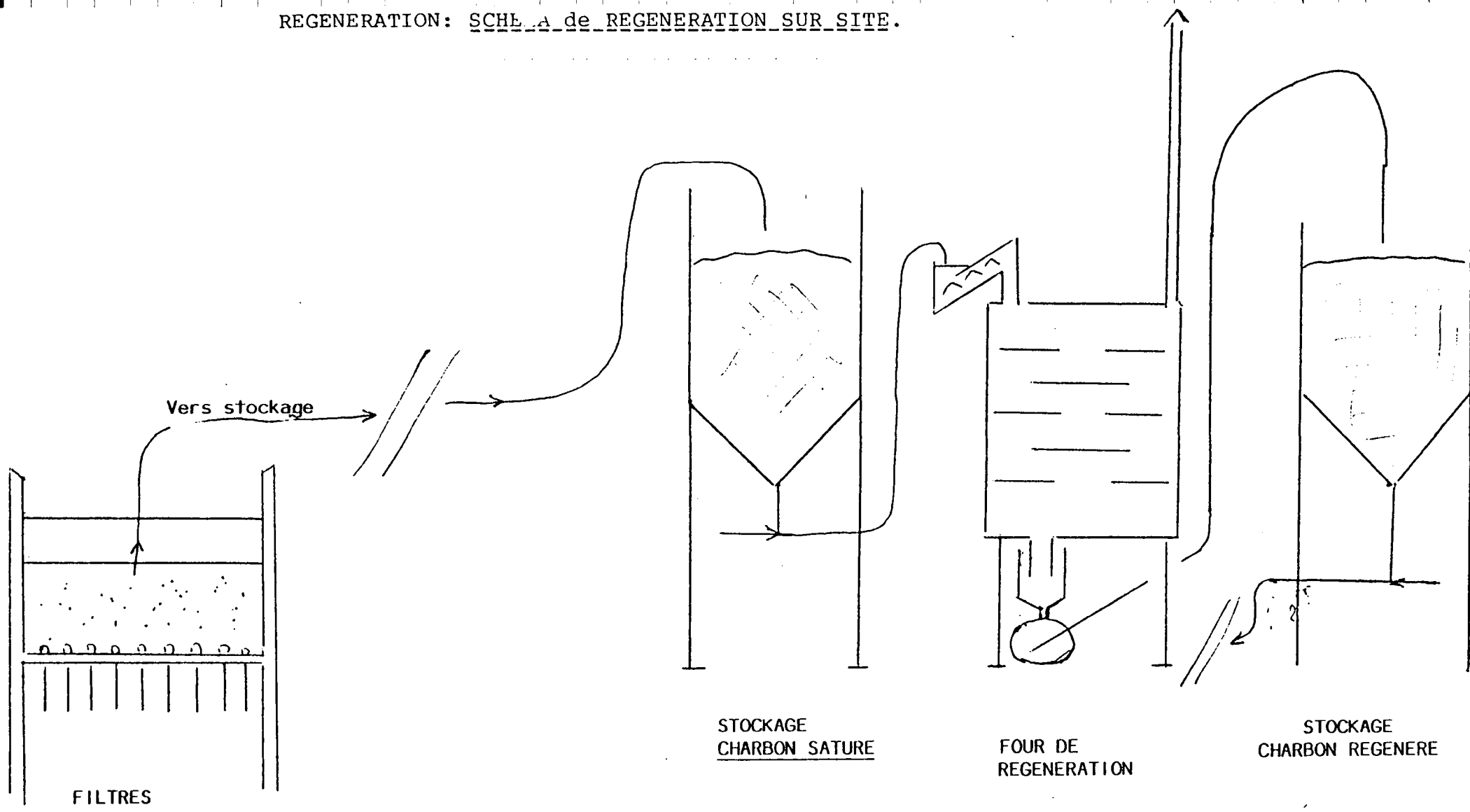
- Le charbon actif est étalé de façon uniforme sur la sole ;
- il est mis en suspension par les gaz chauds de fluidisation ;
- le gradient de température est le même à l'intérieur du lit ;
- l'optimum recherché pour les échanges est ainsi satisfait.
- le contrôle de température est aisé, ce qui permet de réduire les pertes par combustion : les risques d'introduction parasite d'air sont diminués.
- les pertes par attrition sont inférieures à celles enregistrées dans les autres types de fours ;
- l'arrêt et le démarrage sont aisés et rapides ;
- il présente une grande souplesse à l'égard des différentes sortes de charbon.



REGENERATION: SCHEM DE REGENERATION HORS SITE.



REGENERATION: SCHE\_A de REGENERATION SUR SITE.



Comme dans le cas précédent, la réactivation s'effectue à des températures de l'ordre de 800 à 850°C. Les avantages de ce type de four sont les suivants :

- Dans le four à lit fluidisé à 1 étage, la répartition du temps de séjour de la plus grande partie du charbon traité est moins homogène que dans un lit fluidisé à 2 étages. Or, plus cette répartition de temps de séjour est homogène pour chacune des particules de charbon mises en suspension, plus la qualité du produit obtenu sera uniforme et plus faibles seront les pertes en charbon actif liées à la combustion.
- Grâce à une meilleure récupération et à une meilleure utilisation de la chaleur dégagée lors de la réactivation, on peut instaurer un mode de fonctionnement plus économique et pour une même quantité de charbon, avoir une surface utile plus réduite.

#### 9. Utilisation du charbon actif en grains comme support de développement biologique :

L'expérience a montré à de très nombreuses reprises, que le charbon actif en grains fabriqué à partir de charbon minéral, dans notre usine américaine, convenait parfaitement pour permettre un développement rapide d'un film biologique. Cette biologie permettra d'abattre par oxydation biologique, toute contamination importante d'eaux usées, pour autant que les contaminants soient de nature biodégradables.

Un tel traitement conviendra pour traiter des effluents de stations balnéaires ou des stations de sports d'hiver (situations intermittantes) ainsi que les effluents d'industrie agro-alimentaires n'entraînant pas de rejets toxiques ou réfractaires.

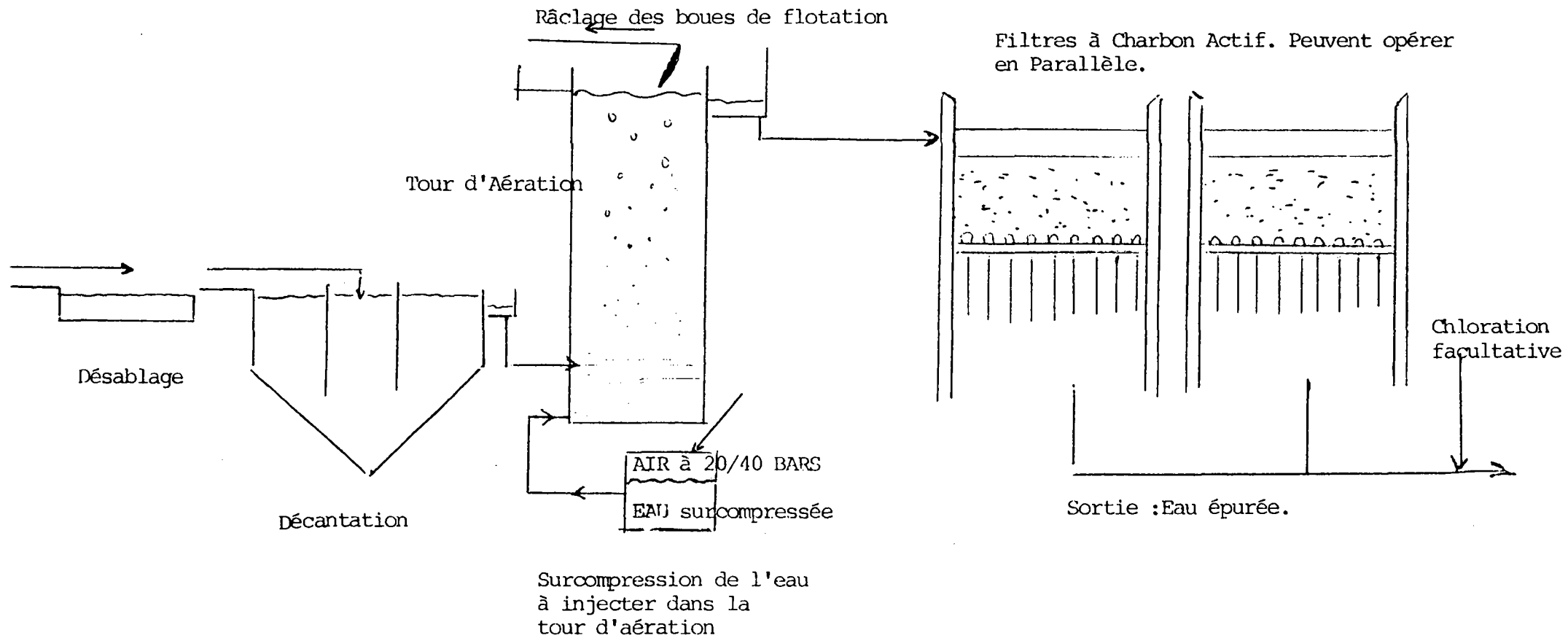
Avantages de ce procédé :

Ce procédé de filtration sur lits de charbon actif présente les avantages suivants :

- Construction d'unités plus compactes à débit égal que dans le cas d'unités biologiques "conventionnelles".
- Adaptabilité très élevée de ces unités (en une heure en moyenne).
  - \* aux variations de débit
  - \* aux arrêts/redémarrages,
  - \* aux variations importantes de concentration,
  - \* aux très basses températures (stations de montagne)
- Formation de boues très aérées ne produisant pas d'odeurs soufrées, nuisibles à l'environnement et se laissant bien déshydrater.
- Pas de régénération de charbon actif qui se régénère en continu grâce à l'action biologique.

SCHEMA GENERAL D'UN PROCEDURE DE "BIOFILTRATION" SUR LIT BIOLOGIQUE CHARBON ACTIF.

Rendement global sur une telle unité: 95-98% de réduction de DBO/DCO (si non toxique)



Précautions : l'eau doit être parfaitement préaérée avant filtration sur charbon actif pour assurer une bonne alimentation en oxygène.

L'absence d'oxygène conduirait à un développement anaérobie avec dégagement de H<sub>2</sub>S.

Schéma habituel de fonctionnement :

- \* Dégrillage
- \* Décantation
- \* Flotation (assure une bonne préaération par injection d'eau pressurisée à 20-40 bars).
- \* Filtration sur charbon actif en grains type GAC 30.

- . Hauteur de lit : 60-80 cm
- . Temps de contact : 20 min max.
- . Vitesse de filtration : 3-4 m/h
- . Lavage à contrecourant : fréquence variable, dépendant de l'accroissement de la perte de charge, elle-même dépendant de la vitesse du développement biologique.
  
- . Vitesse du lavage à contrecourant : 10-20 m/h selon expansion du lit choisi.

### III. CONCLUSION :

Nous avons essayé de donner un aperçu le plus complet possible de l'utilisation du charbon actif dans le traitement d'eau ; cependant, nous sommes tout à fait conscients que des aspects importants ont été passés sous silence.

Dans le traitement des eaux potables où cette utilisation est déjà ancienne, le point le plus important à déterminer reste de savoir ce que l'on désire faire avec le charbon, et dans un deuxième temps, on cherchera à savoir comment et à quel prix, c'est-à-dire, quelle consommation de charbon, pour quel résultat.

Dans le traitement d'eau résiduaire, il faut savoir que l'inconvénient majeur du charbon actif est de conduire à un prix très élevé du kg de produit à éliminer, par contre, il varie relativement peu en fonction de la concentration ; on aura intérêt, dans tous les cas, à le reporter le plus loin possible dans la chaîne de traitement.

Bien entendu, le cas du charbon actif en poudre comme additif au traitement biologique est un cas très spécifique qui n'est pas lié par les mêmes contraintes.

Conférence présentée par Monsieur ATIVON, CIEH

\* \* \* \*

Les difficultés d'exploitation des usines de potabilisation  
liées à la qualité des eaux brutes en Afrique

## INTRODUCTION

C'est de toute évidence la nature de l'eau brute qui définit le traitement à appliquer. En règle générale, l'exploitant ou le distributeur d'eau potable donne sa préférence par ordre décroissant suivant :

- à l'eau souterraine ou de source parce que ne nécessite pas un traitement complet ;

- à l'eau de surface ensuite. Mais il faut considérer ou distinguer deux catégories d'eau de surface : l'eau de cours d'eau et l'eau de retenue ou de lac.

Entre les deux, l'eau de cours d'eau est plus intéressante car bien que demandant un traitement complet, a l'avantage d'être plus facile (renouvelée et aérée).

Mais quelle que soit la nature de l'eau brute, l'environnement est déterminant sur les caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques. C'est ainsi qu'en Afrique, puisque c'est elle qui nous intéresse, l'expérience a permis de relever certaines remarques qui sont propres au milieu, notamment pour le traitement des eaux souterraines et de surface.

Pour chaque catégorie d'eau, nous passerons en revue les facteurs à prendre en compte.

## EAUX SOUTERRAINES

### La température

La température qui semble à priori, être un élément à craindre ne pose pas, sauf cas rare, de problème majeur au niveau des eaux souterraines.

De toute façon, un problème de température devrait assez aisément être résolu par un système adéquat d'aération.

### Le pH et le CO<sub>2</sub> libre

En règle générale, les eaux souterraines en Afrique présentent un pH bas, variant en moyenne entre 5 et 6.

C'est exceptionnel qu'en Mauritanie, qui exploite essentiellement les eaux souterraines, on ait des eaux de pH partout supérieur à 7.

. Conséquence : forte consommation de chaux

. Mais le traitement par aération préalable de ces eaux, qui permet d'éliminer une bonne partie du CO<sub>2</sub> responsable, aide à réduire de façon appréciable la consommation de chaux.

CO<sub>2</sub> : 130 mg/l à Alada au Bénin, 150 à Tabligbo au Togo 100 à Nasso au Burkina Faso.

### Autres éléments indésirables

Au rang des autres éléments qui méritent d'être soulignés on doit citer :

. le fer, en dose importante est fréquemment rencontré, on peut citer à titre d'exemples les eaux de :

Tiaroye au Sénégal  
Tsévié au Togo  
Adetikopé au Togo  
Alada au Bénin (jusqu'à 15 mg/l)

L'élimination de cet élément nécessite des dispositions spéciales notamment des dispositions d'aération.

NB : On peut trouver d'autres éléments mais moins fréquemment comme du fluor ou de l'arsenic (trouvé au Burkina Faso).

. Enfin dans les villes côtières, on a commencé à enregistrer ce qui est appelé l'invasion de la langue salée (ex. des forages de Caconvelli qui alimente la ville de Lomé).

La solution pour le moment est l'abandon pur et simple car il n'est pas aisé de traiter de l'eau salée.

Notons en passant qu'il ne s'agit pas à proprement parler d'un problème spécifique à l'Afrique.

EAUX DE SURFACEEaux de rivière. La Température

La température dans certaines périodes de la journée et de l'année et à certains endroits (autour de 40°) semble avoir certaines influences sur les floccs formés dans les décanteurs (phénomène de remontée de boues dans les décanteurs).

Cette action reste à vérifier car ce sont pour le moment des hypothèses qui ont été faites suite à des observations.

. La Minéralisation

En général, faible minéralisation en particulier le TAC et le TA sont très faibles.

L'eau du fleuve Niger au niveau de Niamey a des TAC qui varient entre 0,9 à 2,2° F et le TA est toujours nul ce qui n'est pas favorable à la floculation.

. La Turbidité

Le caractère brutal des averses a d'importantes répercussions sur la turbidité très variable dans le temps ce qui entraîne une consommation variable de sulfate d'alumine.

Ex. de consommation de  $Al_2(SO_4)_3$  en  $g/m^3$  sur la Station de Goudel (Niamey)

| Année | Saison sèche | Saison des pluies |
|-------|--------------|-------------------|
| 1982  | 42           | 150               |
| 1983  | 42           | 88                |
| 1984  | 40           | 63,5              |

Eaux de barrage et de lac

C'est incontestablement les plus difficiles pour le traitement en Afrique et sans doute ailleurs également.

Les principaux facteurs de ces difficultés sont : la température, les différentes formes de pollution, l'eutrophisation, l'envasement.



## . La Température

Le caractère stagnant ne peut qu'accentuer son action sur les caractéristiques des eaux de surface évoquées ci-dessus : ex. des eaux de la station de Ouagadougou.

## . Les différentes formes de pollution

On peut penser qu'étant donné l'état de pollution envahissante de l'environnement en pays développés, les eaux brutes en Afrique seraient moins exposées à la pollution, ce qui n'est pas forcément vrai car le vide juridique en matière de la protection de l'environnement est particulièrement favorable aux rejets désordonnés des déchets de toutes sortes.

En ville, la pollution présente un aspect multiforme (matières organiques chimiques...) ; le cas des eaux des barrages de la ville de Ouagadougou constitue un exemple frappant. De ce fait, elle est complexe et difficile à définir. On s'aperçoit tout simplement des complications au niveau du traitement.

A Ouagadougou, on suspecte en particulier, dans la manifestation du phénomène de remontée de boues dans les décanteurs, le rôle aggravant des rejets d'huile de toutes sortes, notamment ceux des garages.

En dehors des villes, la pollution est relativement faible mais on commence à relever ici et là, des indices inquiétants de produits que l'on attribue aux activités agricoles (engrais et pesticides) ex. de l'eau de Notsé (au Togo).

## . L'Eutrophisation

Ce phénomène d'asphyxie et de pourrissement se trouve amplifié en Afrique par le grand charriage sur les bassins versants lors des averses. Elle entraîne des problèmes de coloration et d'odeur demandant des mesures énergiques diverses (prétraitements importants, par oxydants puissants, charbon, adjuvants de floculation...).

Les exemples sont nombreux : AGBOVILLE (en Côte d'Ivoire), MEFOU (au Cameroun)...

## . L'Envasement

Ce problème est très grave car il entraîne la perte des ouvrages. Les mêmes causes que ci-dessus peuvent être citées : grand ravinement d'où conséquence sur le traitement : pompage de boues après quelques temps d'utilisation.

Solutions du traiteur : prévoir des niveaux de prise différents, ex. des barrages dans le Sahel.



**fondation de l'eau**

**COLLOQUE INTERNATIONAL**  
***Sessions de perfectionnement technique***

---

**EAU - FORMATION - DEVELOPPEMENT**

ABIDJAN - 2-15 FEVRIER 1986

---

THEME GENERAL II

Alimentation en Eau Potable  
Zones Rurales

5 février 1986

\* \* \* \*

La gestion technique des adductions d'eau en zone rurale :  
une tâche vraiment difficile ?

I N T R O D U C T I O N

Le problème des adductions d'eau en zone rurale se pose, en général, à nos pays respectifs certes différemment mais partout avec une acuité brûlante.

En effet, l'amélioration des conditions de vie des populations rurales, d'une part et d'autre part la réalisation des objectifs de la Décennie Internationale de l'Eau Potable et de l'Assainissement ( D I E P A ) , passent par une planification correcte du Sous-secteur de l'hydraulique rurale et une gestion performante des infrastructures Hydrauliques en milieu rural. Faut-il le rappeler, les Etats Membres, s'étaient engagés lors de la conférence des Nations Unies sur l'eau à Mar del Plata (du 14 au 25 Mars 1977) à susciter une amélioration substantielle des normes et des niveaux des services d'alimentation en eau potable et d'assainissement de 1981 à l'an 1990.

Notre propos sera ici, de traiter du thème de " la gestion technique des adductions d'eau en zone rurale " - Une tâche vraiment difficile, face à l'ampleur des besoins et à la spécificité du sujet.

Pour ce faire et en nous inspirant du cas Sénégalais, nous essaierons d'abord de camper le concept de "zone rurale". Ensuite et après un bref survol des problèmes institutionnels du secteur, nous aborderons la composante, non moins importante, de l'organisation de la gestion technique des adductions d'eau en zone dite rurale.

./.

I - DEFINITION DU MILIEU RURAL :

A notre connaissance, il n'existe aucune définition internationalement reconnue de la zone urbaine ou rurale.

Il reste que, selon les pays, la distinction entre collectivité urbaine et collectivité rurale se fonde sur :

- Des critères de populations : Au SENEGAL, le transfert à l'hydraulique urbaine des adductions d'eau en zone rurale est envisagé à partir de 10 000 Habitants.

- La structure administrative

- La nature de l'habitat : selon que l'habitat est dispersé ou concentré

- La nature de l'adduction d'eau : Au SENEGAL, on distingue trois schémas principaux de disposition des installations d'alimentation en zone rurale.

- a). Le schéma "source à point" : Concentration de population ~~assez~~ faible près d'une source d'eau pérenne. Captage ou forage équipé de pompe (à motricité humaine ou pompe éolienne ou pompe solaire) sans système de distribution.
- b). Le schéma de "Type à quartiers" : Petits peuplements dispersés avec sources d'eau lointaines. Captage ou forage équipé de motopompe diésel en général avec ouvrage d'adduction d'eau très simplifié.
- c). Le schéma de "Type semi-urbain" : Peuplements avec possibilités de développement de l'urbanisme avec sources d'eau lointaines. captage ou forage équipé de motopompe diésel en général avec un petit réseau de distribution d'eau.

./..

Traditionnellement même, une distinction est faite entre l'hydraulique pastorale et l'hydraulique villageoise.

Ici, nous confondrons, dans les adductions d'eau en zone rurale, la satisfaction des besoins des populations et du cheptel ; à l'exclusion de l'Hydraulique agricole dont les besoins au SENEGAL, font appel aux barrages.

## II- PROBLEMES INSTITUTIONNELS :

Comme dit par ailleurs, la faiblesse institutionnelle est certainement de tous les problèmes, le plus important que l'approvisionnement en eau ait à affronter, particulièrement en zone rurale.

Cette faiblesse se manifeste sous des formes diverses et notamment par l'absence de toute politique centrale des adductions d'eau et par la multiplicité des organismes pouvant intervenir simultanément dans le secteur. Ce qui peut avoir comme résultante, un éparpillement si ce n'est un conflit des compétences.

Ce qui, pour le cas du SENEGAL a été vite compris. Aussi, pour garantir la cohérence de l'ensemble des activités du secteur, il a été désigné une seule autorité ; le MINISTERE DE L'HYDRAULIQUE qui a compétence de formuler la politique de l'eau, de planifier et de contrôler sa mise en oeuvre, de surveiller les organismes de gestion. Pour beaucoup de nos pays, cette unicité d'un organe responsable de la politique de l'eau est d'autant plus souhaitable que les ressources en eau sont limitées par rapport aux besoins.

## III- ORGANISATION DE LA GESTION TECHNIQUE DES ADDUCTIONS D'EAU EN ZONE RURALE

Nos gouvernements respectifs ont mis en place de vastes programmes d'adduction d'eau particulièrement en zone rurale.

./..

De nombreux points d'eau ont ainsi été mis en exploitation.

Au Sénégal, par exemple, le nombre de forages équipés d'exhaure mécanique en milieu rural est passé de 66 unités en 1975 à 281 ouvrages en 1985 ; 4 500 puits modernes et environ 10 000 puits traditionnels (fonctionnement non pérenne) sont actuellement en exploitation.

La gestion de telles infrastructures, à n'en pas douter, n'est pas chose aisée. Elle implique une connaissance d'abord du milieu et de son environnement.

\* Les équipements :

Un accent particulier devra être mis sur la simplification du matériel d'exhaure. Cela non sans comprendre que simplicité et petitesse ne voudront pas dire rétrogrades.

La mise en place d'un système d'adduction d'eau en zone rurale exige un choix judicieux de technologie. Si les techniques, les méthodes, en un mot, les équipements utilisés ne sont pas adaptés aux conditions et aux situations du milieu, les problèmes n'en seront que d'autant plus difficiles à résoudre. Il serait, par exemple, une erreur que de considérer les installations d'adduction d'eau en zone rurale comme des simples versions, à échelle réduite, des installations urbaines.

Une standardisation du matériel utilisé constituera, sans nul doute, un gage de réussite quant à la politique de maintenance à asseoir.

En effet ici, plus que partout ailleurs, l'entretien des installations et leur maintenance dans de bonnes conditions de fonctionnement constituent un impératif catégorique. Les influences extérieures qui compromettent rapidement le bon fonctionnement du matériel sont

./..

multiples et certainement plus sévères ici qu'en zone urbaine. Mais l'on a souvent constaté qu'une fois l'équipement installé et mis en service, le seul souci restait de satisfaire les besoins pour lesquels l'investissement a été fait. Et cette douce euphorie créée au niveau des usagers, ne durait que jusqu'à la première panne.

Un des moyens d'assurer une gestion dynamique des adductions d'eau rurales, est d'impliquer les populations concernées depuis la conception du projet.

\* Implication de la collectivité rurale

La collectivité bénéficiaire des adductions d'eau doit être consultée sur la conception, la construction, l'utilisation et l'entretien des installations. Si ces dernières ne sont pas acceptées et prises en charge par la collectivité, elles seront mal utilisées, voire soumises au vandalisme.

C'est ainsi qu'au SENEGAL, il fut créé les comités de gestion des forages et adductions d'eau en zone rurale.

Chaque comité de gestion est dirigé par un bureau élu en assemblée générale de tous les usagers du point d'eau. Le bureau est chargé d'animer l'action des usagers en direction du bon fonctionnement de l'ouvrage.

Les taux de participation sont laissés à la discrétion des comités de gestion et sont destinés essentiellement à :

- la prise en charge du personnel des forages,
- l'achat de carburant et lubrifiants ainsi que des petites pièces de rechange,
- l'entretien courant.

./..

Au terme de la gestion 1983/1984, les comités de gestion ont ainsi contribué au fonctionnement des ouvrages d'adduction d'eau pour 111 millions de Francs CFA.

Par ailleurs, le personnel chargé du fonctionnement des forages est sélectionné parmi les villageois et envoyé en formation aux services de la structure centrale chargée de la gestion du sous-secteur.

Il faut noter ici que, dans certains de nos pays, cette structure est la même que celle intervenant dans le sous-secteur de l'hydraulique urbaine. Dans d'autres pays par contre la structure créée est indépendante.

Dans tous les cas, et par une décentralisation judicieuse, elle pourra n'intervenir que pour les grosses interventions.

./...

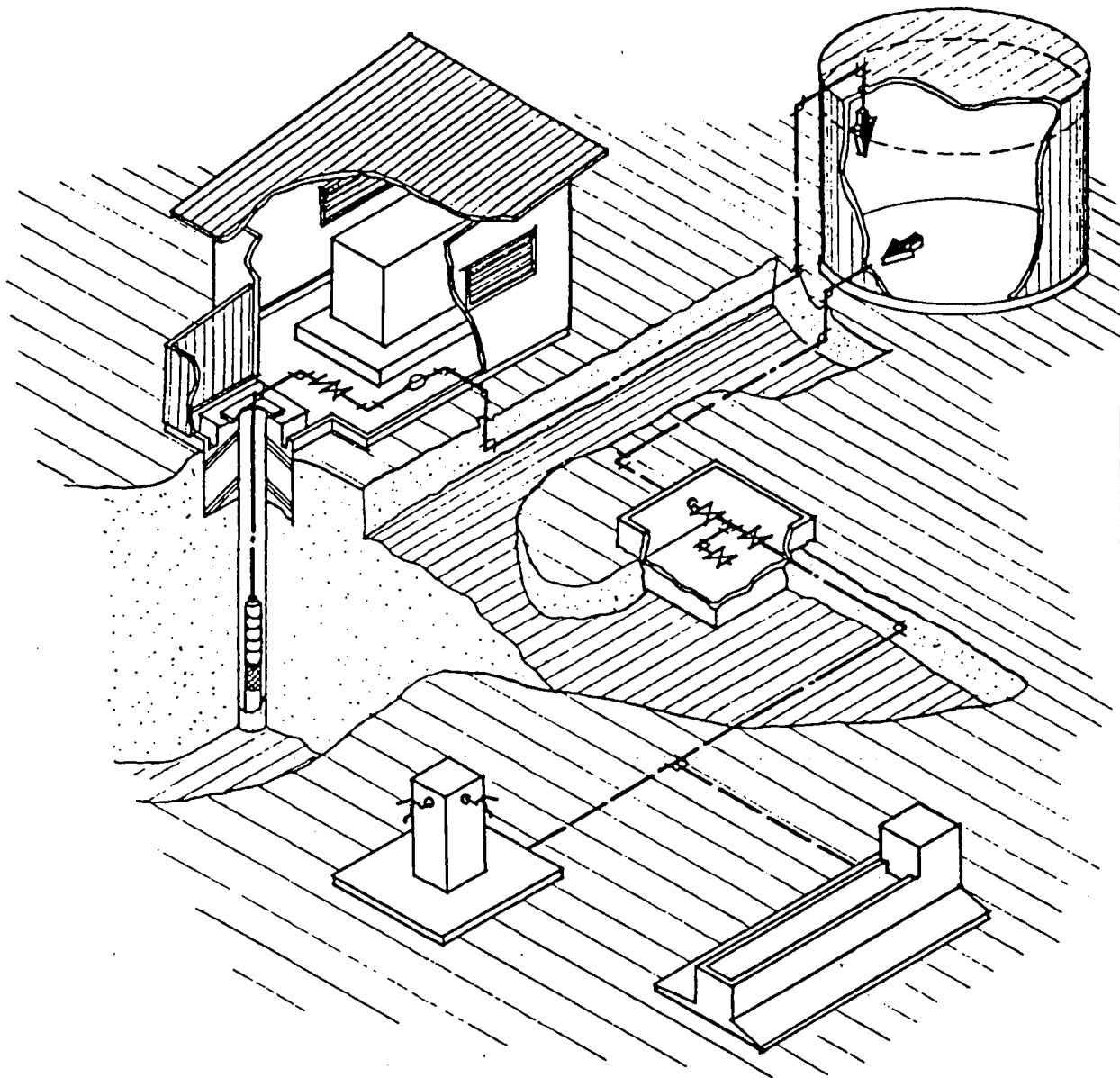


## C O N C L U S I O N

Comme on peut le constater, si l'objectif global est le même pour nos pays en développement, il n'en reste pas moins que la réalisation ne peut se faire selon un modèle uniforme de gestion technique de nos adductions d'eau en zone rurale.

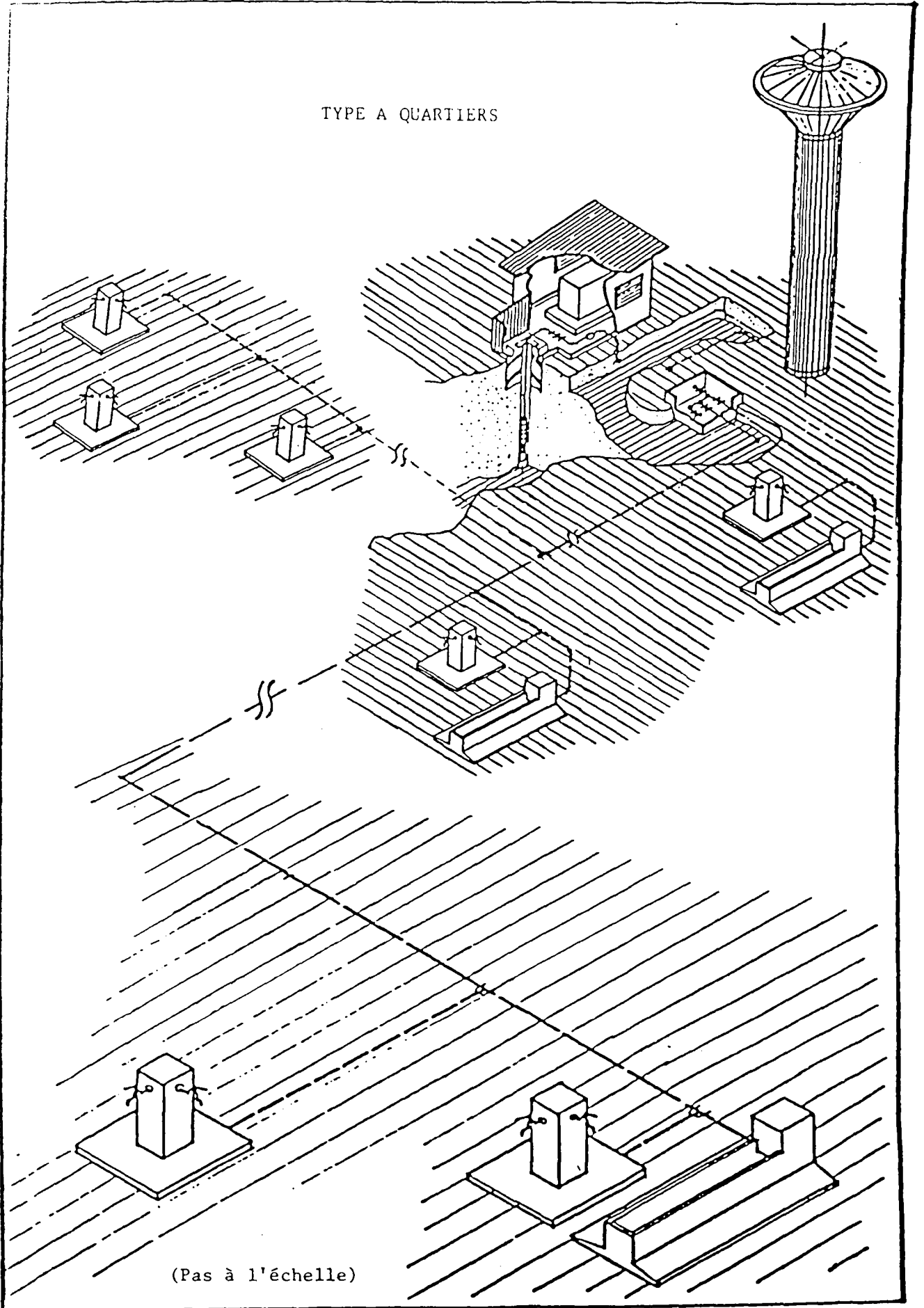
Cependant, un cadre comme celui qui nous est offert par ce présent colloque international de la "FONDATION DE L'EAU", favorise une concertation et un échange d'expériences devant nous permettre, en la matière, un renforcement et un ajustement au mieux et selon le contexte socio-économique de nos pays respectifs.

SOURCE A POINT



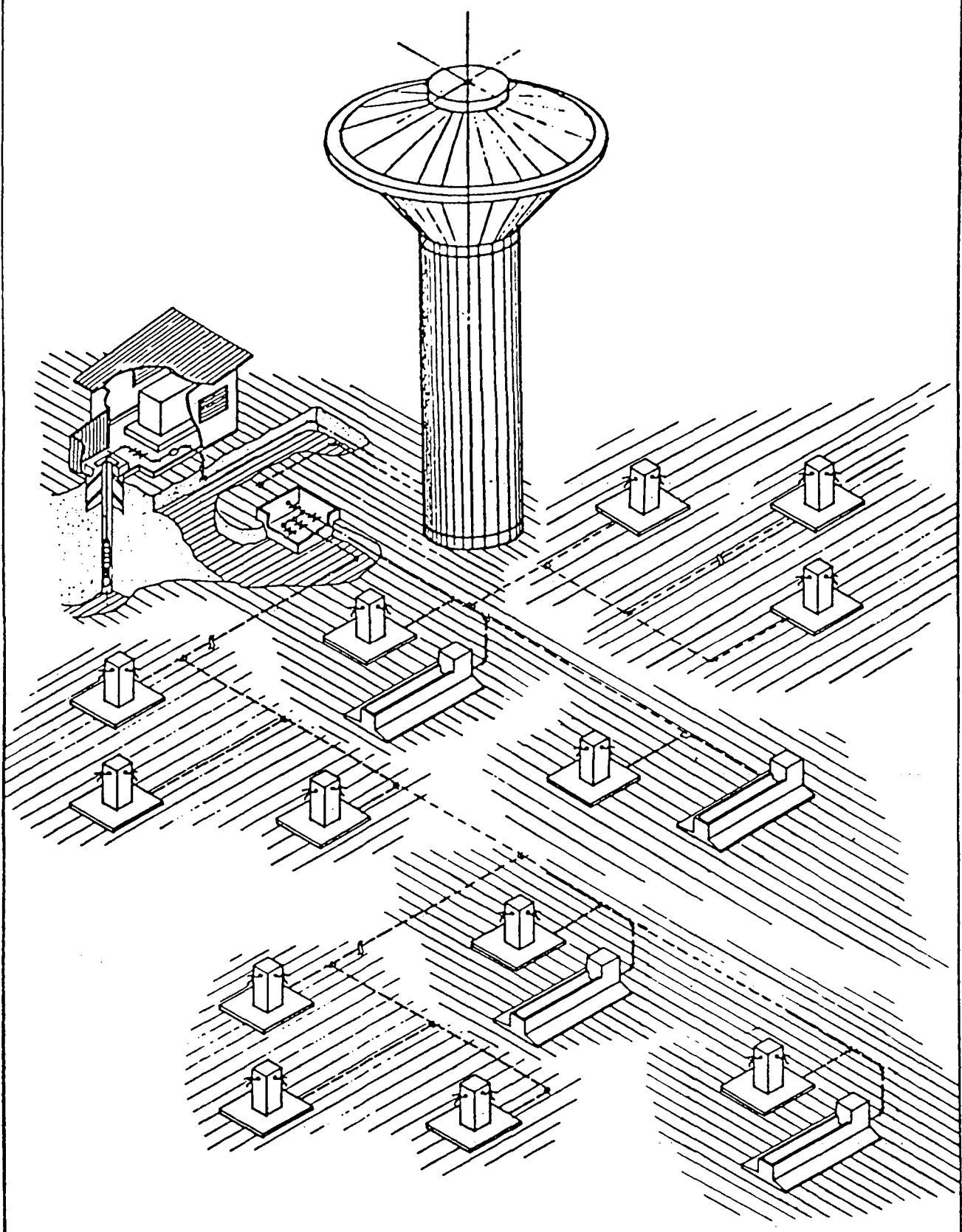
(Pas à l'échelle)

TYPE A QUARTIERS



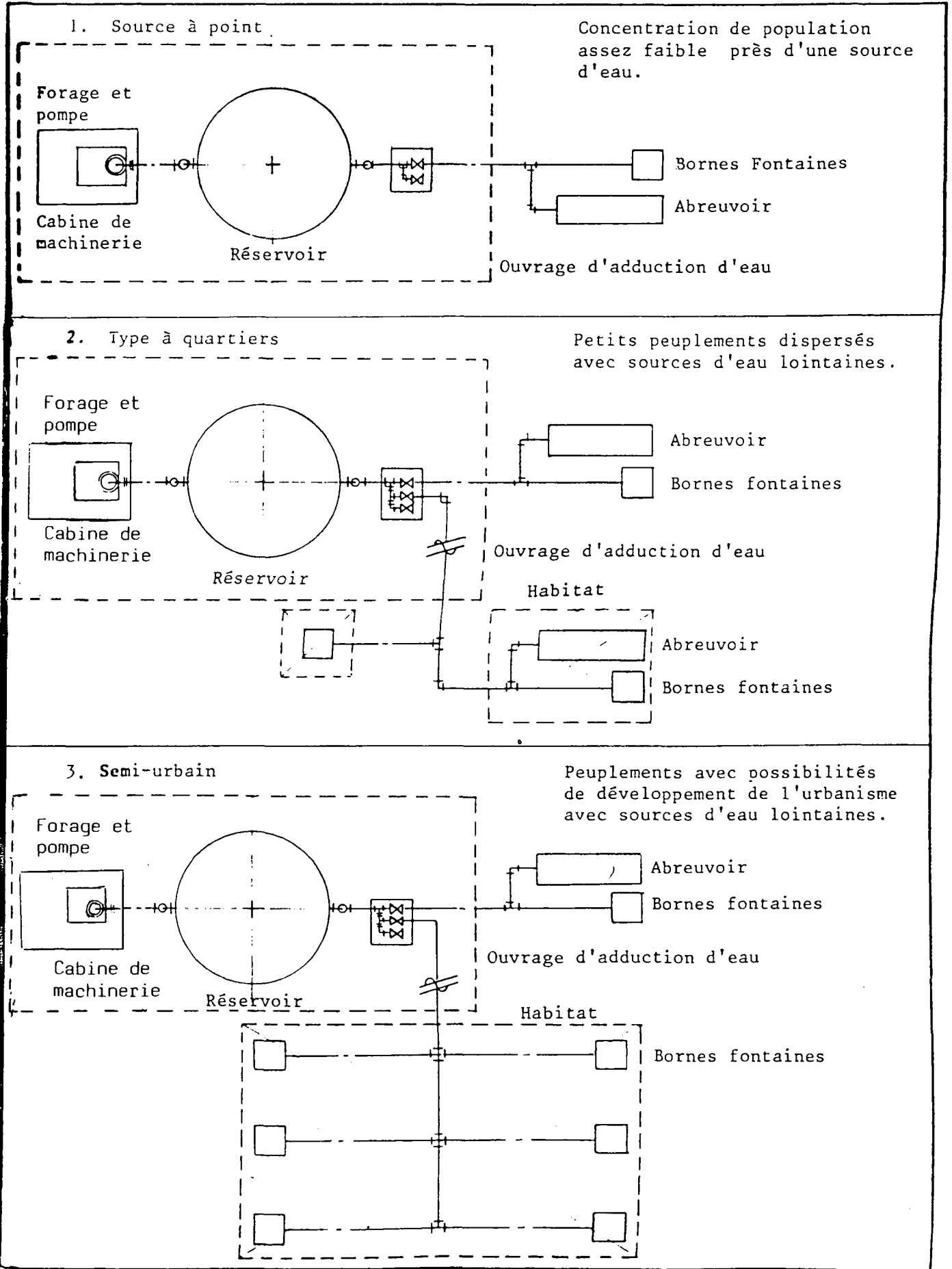
(Pas à l'échelle)

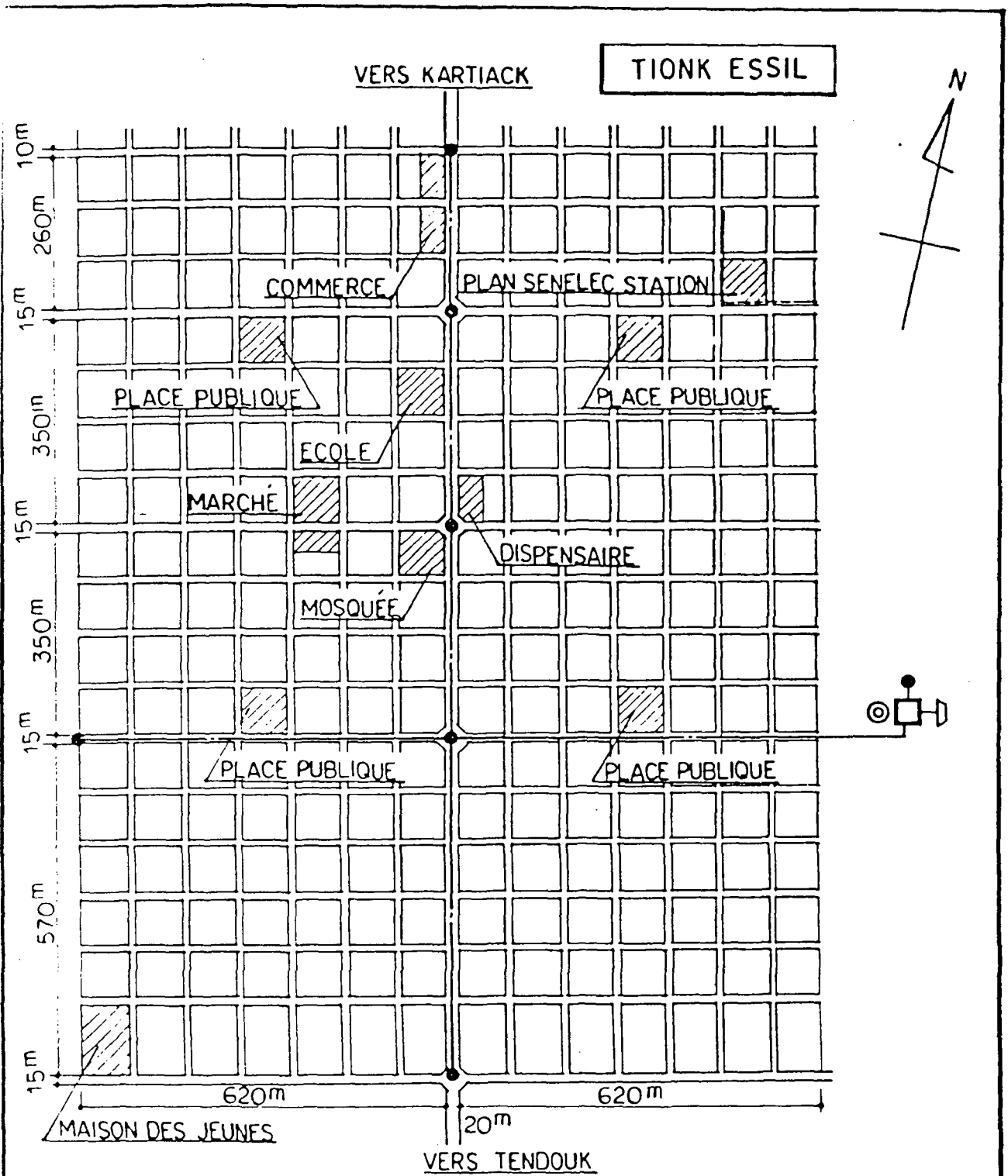
SEMI-URBAIN



(Pas. à 1'échelle)

### Schéma de la disposition des installations d'alimentation en eau



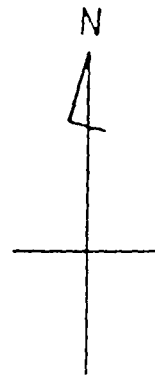


0 100 200 300 400 500<sup>m</sup>

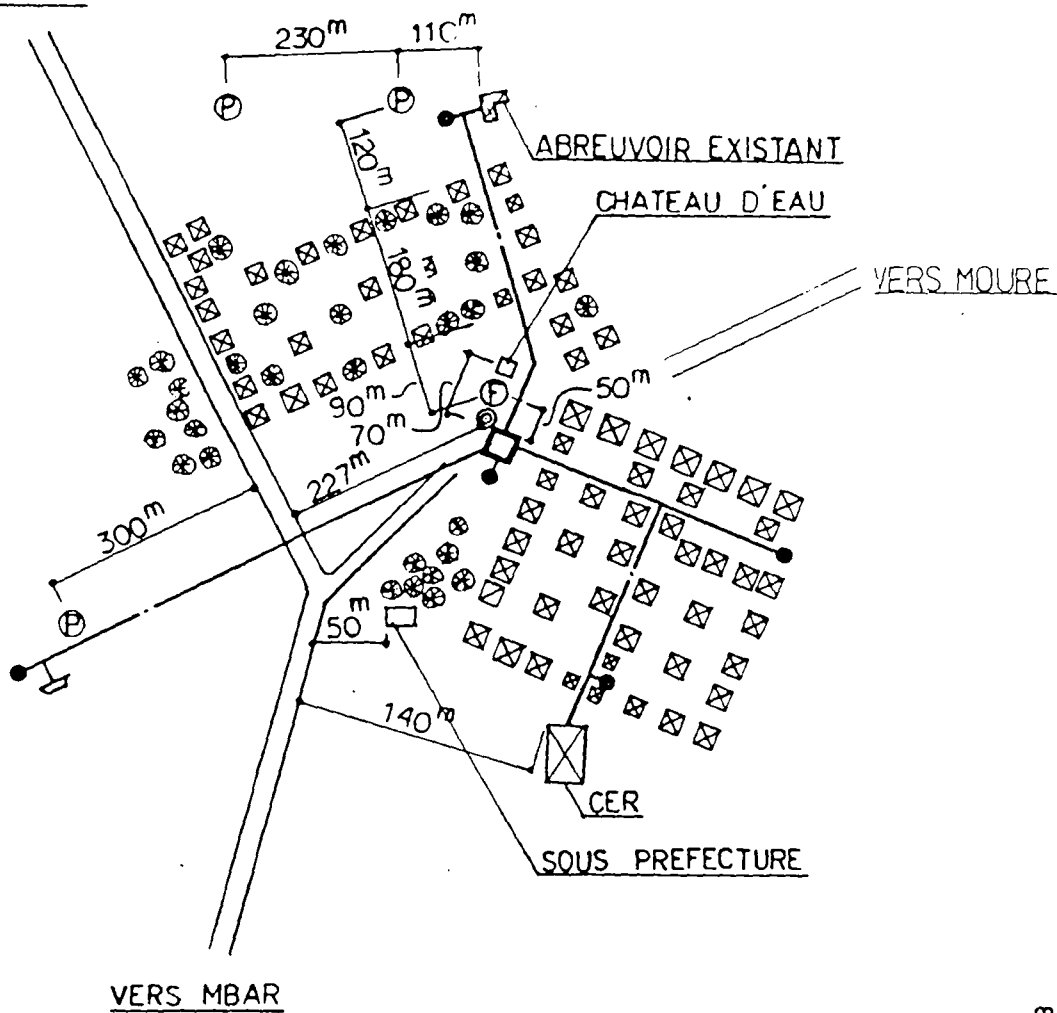
LEGEND

|     |                      |   |                            |
|-----|----------------------|---|----------------------------|
| ⊙   | FORAGE PROJET        | □ | OUVRAGE D'ADDUCTION D'EAUX |
| ●   | BORNE FONTAINE       | ◁ | ABREUVOIR                  |
| --- | CONDUITE D'ADDUCTION |   |                            |

COLOBANE

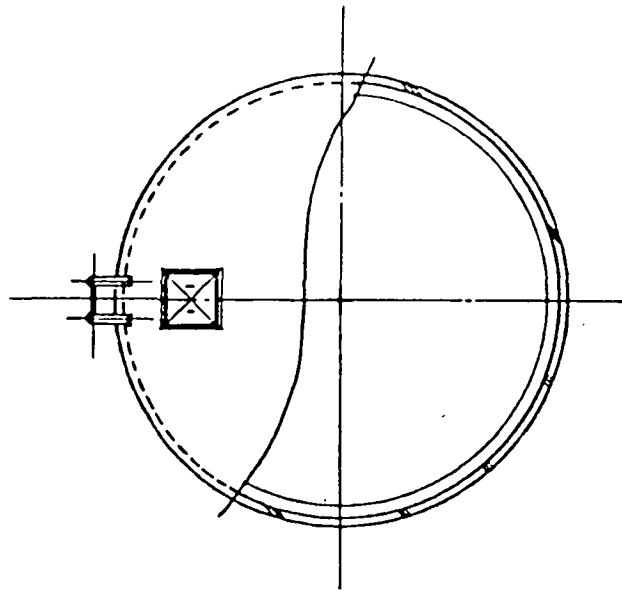


VERS MBAKE

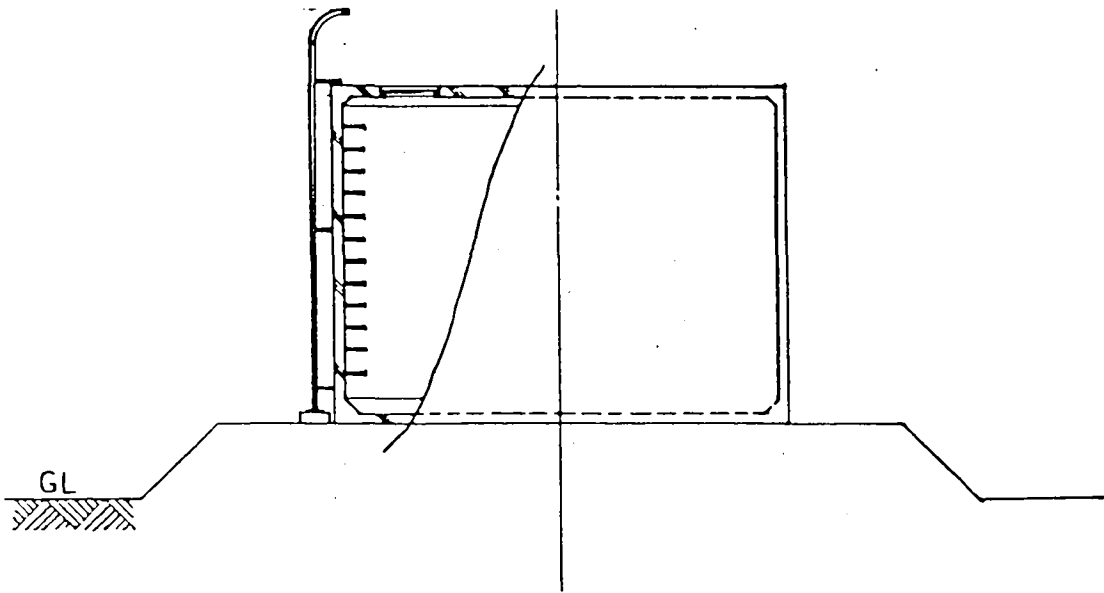


LEGEND

|     |                      |   |                            |
|-----|----------------------|---|----------------------------|
| ⊙   | FORAGE PROJET        | Ⓟ | FORAGE                     |
| Ⓟ   | PUIT                 | □ | OUVRAGE D'ADDUCTION D'EAUX |
| ●   | BORNE FONTAINE       | ⌊ | ABREUVOIR                  |
| --- | CONDUITE D'ADDUCTION | ⊗ | MAISON                     |



Vue en plan

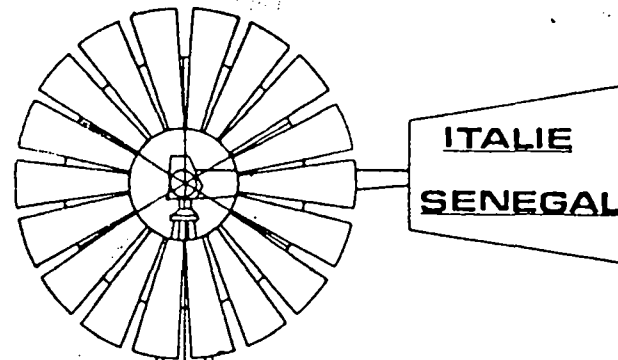


Façade

RESERVOIR AU SOL

(Pas à l'échelle)





## POMPAGE ET STOCKAGE D'EAU AVEC EOLIENNE

DEBIT de l'EOLIENNE avec DIAMETRE de la ROUE de 600 Metre et  
VITESSE du VENT de 3-4 metre/sec.

|                        |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |
|------------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| PROFONDEUR<br>(metre)  | 0     | 6    | 8    | 11   | 16   | 21   | 27   | 34   | 41   | 47   | 58   | 76   | 91   | 111 |
|                        | 5     | 7    | 10   | 15   | 20   | 26   | 33   | 40   | 46   | 58   | 75   | 90   | 110  | 140 |
| Diam. POMPE<br>(mm.)   | 300   | 180  | 160  | 150  | 135  | 125  | 115  | 110  | 100  | 90   | 80   | 75   | 65   | 60  |
| DEBIT<br>(litre/heure) | 18000 | 9700 | 7800 | 6900 | 5300 | 4600 | 3800 | 3500 | 2900 | 2300 | 1800 | 1500 | 1100 | 950 |

AU Réservoir

Entrée

TROP PLEIN

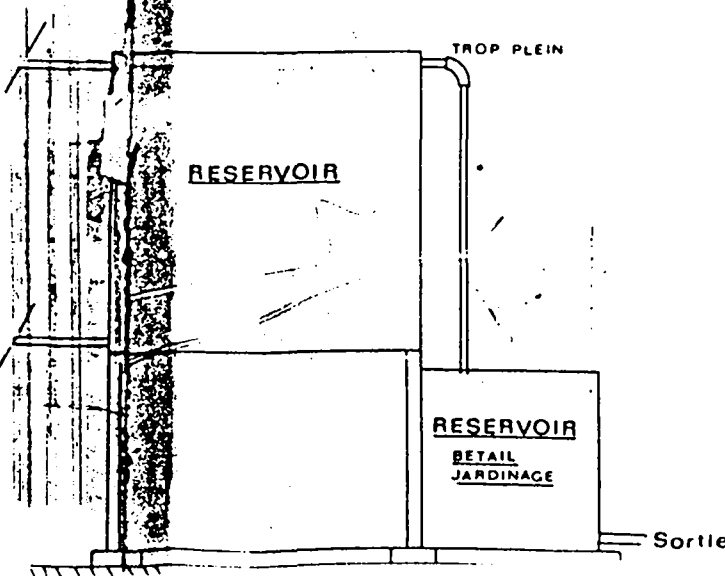
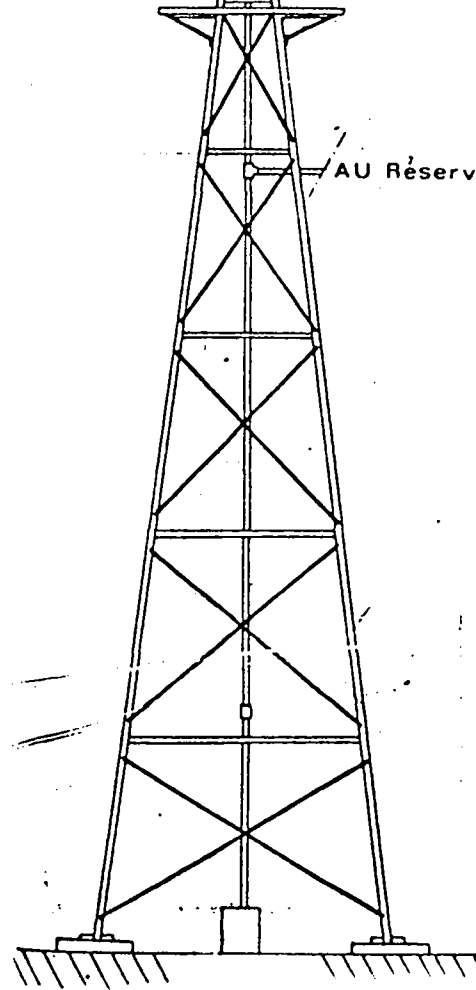
RESERVOIR

Sortie

RESERVOIR

RETAIL  
JARDINAGE

Sortie



Exemple d'utilisation d'une Eolienne

- niveau statique de l'eau dans le forage = 50 m
- hauteur du réservoir = 5 m
- hauteur manométrique = 55 m
- diamètre de la roue = 6 m
- diamètre de la pompe = 80 mm
- heures de vent par jour = 10 heures  
(vent de 3-4 m/sec)

Le débit est alors de = 1,8 m<sup>3</sup> = 18 m<sup>3</sup>/jour

suffirait pour 900 personnes  
ou 450 personnes et 225 vaches, ou 1.800 chèvres  
(à raison de 20 litres/jour par personne  
40 litres/jour par vache  
5 litres/jour par chèvre)

Les villages concernés ont un nombre d'habitants allant de 300 à 600 personnes.

5. Coût du projet

|   |                 |
|---|-----------------|
| - Une éolienne  | 2.800.000 F CFA |
| - Une pompe   | 80.000 F CFA    |
| - Tuyaux  | 150.000 F CFA   |
| - Production et montage   | 150.000 F CFA   |
| - Réservoir pour besoins humains en eau<br>15 m <sup>3</sup> de béton | 300.000 F CFA   |
| - Réservoir pour bétail (10 m <sup>3</sup> béton)                     | 150.000 F CFA   |
| - Stages de formation pour 2 jeunes                                   | 100.000 F CFA   |
| TOTAL   | 3.730.000 F CFA |

Les villageois participent (investissement humain) en ce qui concerne la main d'oeuvre pour les fondations et construction des réservoirs.

Conférence présentée par Monsieur ADIAFI, SODECI

\* \* \* \* \*

Gestion et Exploitation des Eaux Souterraines dans les Zones Rurales

INTRODUCTION

LE CYCLE DE L'EAU

L'évaporation au-dessus des océans grâce à l'énergie solaire, entraîne la formation des nuages, qui poussés par les vents, se résolvent en pluie ou en neige à la faveur d'une variation de température. D'où les précipitations atmosphériques.

En fonction de la topographie, de la constitution géologique du sol, du climat et de la température, la pluie se répartit comme suit :

- Evaporation
- Ruissellement
- Sources
- Infiltrations

Toutes ces eaux retournent à la mer par un système d'hydrographie de surface ou souterraine plus ou moins complexe. Pour ce qui nous concerne, nous nous intéresserons uniquement à la partie souterraine.

INFILTRATIONS

Elles sont difficiles à apprécier. Dans tous les cas elles retournent tôt ou tard à la rivière où elles s'ajoutent aux eaux de ruissellement de surface.

DETERMINATION DES RESERVES

Pour déterminer la superficie alimentaire d'une nappe, il faut s'assurer que les couches au-dessus de la nappe ou du gisement sont perméables.

De façon générale, nous distinguons 3 grandes catégories de terrains :

- Terrains perméables en petit gisement dont les réserves prennent le nom de nappe
- Terrains perméables en grand gisement ou gîte AQUIFERE
- Terrains imperméables. Notion très relative, car en fait une eau ne s'arrête que lorsqu'elle rencontre un terrain moins perméable que celui dans lequel elle circule.

La détermination des eaux souterraines n'est pas chose facile.

- . Localisation difficile
- . Estimation encore plus difficile

Généralement, les nappes aquifères sont représentées sur fond de carte topographique à l'aide de courbes de niveau joignant les points d'égale altitude de la nappe. Ce sont les courbes isopiézométriques. Les côtes des plans d'eau sont relevées à des sources, des puits ou des forages ou par des piézomètres.

L'importance de telles cartes est grande. Elles renseignent le projeteur qui veut établir un ouvrage de captage en un point déterminé.

Ces cartes doivent donc être établies par région. Elles peuvent être utilisées concurremment avec les cartes correspondantes donnant les courbes de niveau du substratum imperméable. Par différence, on a une indication sur la puissance de la nappe observée.

La détermination des limites d'un bassin peut se faire avec les courbes isopiézométriques, (lignes de faite comme les crêtes des côteaux pour les rivières). Pour l'étude de gisements importants il faut un examen plus minutieux sur le terrain faisant intervenir des techniques diverses : coloration - mesures de résistivité, de vitesse d'écoulements souterrains, mesures physico-chimiques. Ce n'est qu'après une interprétation prudente des résultats ainsi obtenus que l'on pourra avancer une hypothèse sur l'étendue de la zone probable d'alimentation.

En Côte d'Ivoire nous avons 4 principaux bassins :

Le CAVALY qui prend sa source en Guinée et coule sur sensiblement 700 km. Il draine une superficie de 28.000 km<sup>2</sup>.

LE SASSANDRA qui prend aussi sa source en Guinée coule sur 650 km et arrose une superficie de 75.000 km<sup>2</sup>.

Le BANDAMA prend sa source à Bondiali en Côte d'Ivoire et est long de 1.050 km. Sa superficie est de 97.000 km<sup>2</sup>.

La COMOIE prend sa source au Burkina Faso et coule sur 1.160 km. Sa superficie est de 78.000 km<sup>2</sup>.

Il existe d'autres bassins côtiers et des affluents. Selon un rapport de la Direction de l'Eau, les nappes d'eaux souterraines en Côte d'Ivoire de vaste extension, intéressent sensiblement 3 % du territoire, c'est-à-dire le CONTINENTAL TERMINAL. La plus grande partie du territoire possède uniquement des aquifères discontinus.

Dans les roches grenues, l'eau est emmagasinée dans les fissures de la roche saine ou dans les arènes de la roche altérée. L'épaisseur de la couche d'altération est très variable suivant les régions, mais se situe généralement entre 20 et 60 m.

Les venues d'eau les plus importantes se localisent dans les arènes propres (sans argiles) au contact de la roche saine. Dans les roches SCHISTEUSES DU BIRRIMIEN, la couverture argileuse est habituellement peu perméable et les débits les plus intéressants sont obtenus par captage de la partie supérieure de la roche saine, surtout si celle-ci est riche en quartz détritique ou produits volcaniques.

### EXPLOITATION DES EAUX SOUTERRAINES

Avant toute exploitation, une étude préalable doit permettre au projeteur de choisir le point d'eau.

#### - Etude sur carte

- . consiste à repérer la situation géographique du point d'eau
- . se faire une idée générale de la puissance de la nappe ou du gisement et de déterminer approximativement l'emplacement des ouvrages
- . évaluer le périmètre d'alimentation.

#### - Etude sur le terrain

Faire connaître les débits susceptibles d'être extraits ainsi que les qualités de l'eau souterraine, grâce à la construction d'un ou plusieurs forages de reconnaissance dont les emplacements approximatifs ont été préalablement déterminés par l'étude sur carte.

On détermine avant pompage le niveau de la nappe au repos.

Le projeteur devra s'assurer de l'origine de l'eau, des risques de contaminations éventuelles, des mesures de protection à adopter (effluents et déchets radioactifs, hydrocarbures, périmètre de protection).

#### - Différents types de nappes

Il existe 2 types de nappes - nappes libres  
- nappes captives

- . Nappes libres : ce sont les premières que l'on rencontre en creusant le sol. Elles sont peu abondantes et suspectes du point de vue de la potabilité. Elles sont appelées aussi NAPPES PHREATIQUES.

On rencontre aussi les nappes libres dans les alluvions situées en fond de vallée de certains cours d'eau.

- . Nappes captives : ces nappes comme l'indique leur nom sont prisonnières entre 2 couches de terrains imperméables.

### ESSAIS DE DEBITS

Durent 3 à 4 jours au minimum et de façon continue. Les essais se font par palier de débit et on note le rabattement obtenu à débit constant. Equilibre entre l'alimentation de la nappe et le débit soutiré.

Pour les ouvrages destinés aux adductions, il est impératif de procéder au pompage de formation ou développement. Mais l'ouvrage est toujours équipé à un débit inférieur.

A la faveur d'un vaste programme d'alimentation en eau potable en milieu rural, décidé par le gouvernement, les services techniques compétents notamment la Direction de l'Eau ont opté pour l'exploitation des eaux souterraines par la réalisation de puits et forages.

Les débits air-lift sont de l'ordre de 2 à 3 m<sup>3</sup>/h pour les villages et se situent entre 10 et 60 m<sup>3</sup>/h pour les zones plus importantes (+ 4.000 habitants).

Les méthodes utilisées par la Direction de l'Eau sont :

- les interprétations des photos aériennes
- la géomorphologie
- l'observation de la topographie
- la géophysique seulement quand les méthodes précitées sont inopérantes
- et la prospection électrique (la plus utilisée).

Les installations que nous rencontrons dans les centres ruraux de moyenne importance sont identiques à celles des villes : forage, conduite de refoulement, réservoir, poste de stérilisation, réseau de distribution, branchements particuliers, bornes fontaines publiques.

L'exploitation et la gestion d'un tel centre sont confiées à la SODECI par la Direction de l'Eau.

Selon sa situation géographique, ce centre bénéficie des services d'un agent, en permanence ou de façon périodique.

La maintenance des installations est assurée par l'équipe technique la plus proche.

PROBLEMES RENCONTRES

- Charges d'exploitation élevées
- Faible consommation de la part des abonnés (la plupart du temps dans leurs exploitations propres)
- Difficultés de recouvrement - la masse paysanne étant solvable une à deux fois dans l'année.

Par contre, dans les villages, les forages ou puits sont équipés de pompes à motricité humaine.

L'entretien des ouvrages est sous la responsabilité entière du village. L'ouvrage fait partie intégrante de la vie du paysan.

Dans notre pays, les charges liées à l'exploitation étaient supportées par l'Etat jusqu'en 1981.

A partir de 1981, le gouvernement a demandé aux masses paysannes une participation minimale de 60.000 F par an et par point d'eau, aux frais énormes d'entretien.

Vous devez comprendre que cela n'a pu se faire sans heurts.

- Refus catégorique de certains villages
- Abandon des points d'eau aménagés au profit des sources traditionnelles
- Augmentation des cas de maladies liées à l'eau.

Une sensibilisation a donc été menée de toute force par le gouvernement, la Direction de l'Eau et la SODECI pour arriver à faire accepter le principe à nos populations. Aujourd'hui, qu'est-ce que l'on constate ? 2 groupes de villages :

- villages ayant pris en compte la décision du gouvernement,
- villages qui continuent de rester sourds à cette sensibilisation.

Le premier groupe est composé de villages des régions plus sèches, donc qui connaissent la valeur de l'eau potable, et d'autres villages ayant des organisations locales (structures de gestion) leur permettant de faire face aux frais d'entretien.

Il existe généralement un comité de gestion qui s'occupe de :

- l'aspect sanitaire autour du forage
- la surveillance
- la collecte d'argent.

Conséquences :

- point d'eau aménagé et bien entretenu, donc une eau toujours potable et moins de cas de maladies hydriques
- exploitation rationnelle
- pannes peu fréquentes
- charges de l'exploitant réduites
- frais d'entretien payés régulièrement

Le 2ème groupe se subdivise en 2 sous-groupes :

- villages s'appuyant sur une organisation des intellectuels qui s'efforcent de continuer l'action de sensibilisation et de payer les frais d'entretien
- villages n'ayant aucune structure de gestion.

Dans les deux cas, les constats sont pratiquement les mêmes :

- exploitation anarchique des ouvrages
- pannes fréquentes - coût d'entretien élevé
- aucune hygiène autour du puits - eaux suspectes
- difficultés de collecte de fonds
- frais d'entretien non payés.

Pour une meilleure rentabilité des investissements, il est indispensable :

- que les paysans assurent eux-mêmes l'entretien de leurs points d'eau
- que le point d'eau fasse partie intégrante des biens du paysan.

Par conséquent, il faut assurer la formation de responsables villageois, capables d'en faire la gestion aussi bien sanitaire, technique que financière.

Comme préalable à cette action de formation des paysans, il y a la formation des formateurs. Ceci pour n'utiliser qu'un même langage dans le milieu rural.

Une deuxième approche pourrait être proposée au projeteur : ce serait un système d'approvisionnement - charnière entre le système classique urbain et ce système rural ; forage - réservoir - réseau sommaire - bornes fontaines payantes.

Avantages :

- Rentabilité plus sure
- Meilleure présentation du produit au consommateur
- Facilité d'acquisition du produit
- Aucun risque de pollution
- Pannes provoquées par l'homme inexistantes
- Amortissement plus rapide.

Conséquences :

- Investissements plus importants (par rapport aux ouvrages à motricité humaine)
- Charges d'exploitation plus ou moins importantes.

Nous pensons pour notre part que quel que soit le type de solution adopté, le projeteur devrait commencer à agir en amont de l'opération plutôt qu'en aval. C'est-à-dire, avant l'implantation et l'exécution du point d'eau.

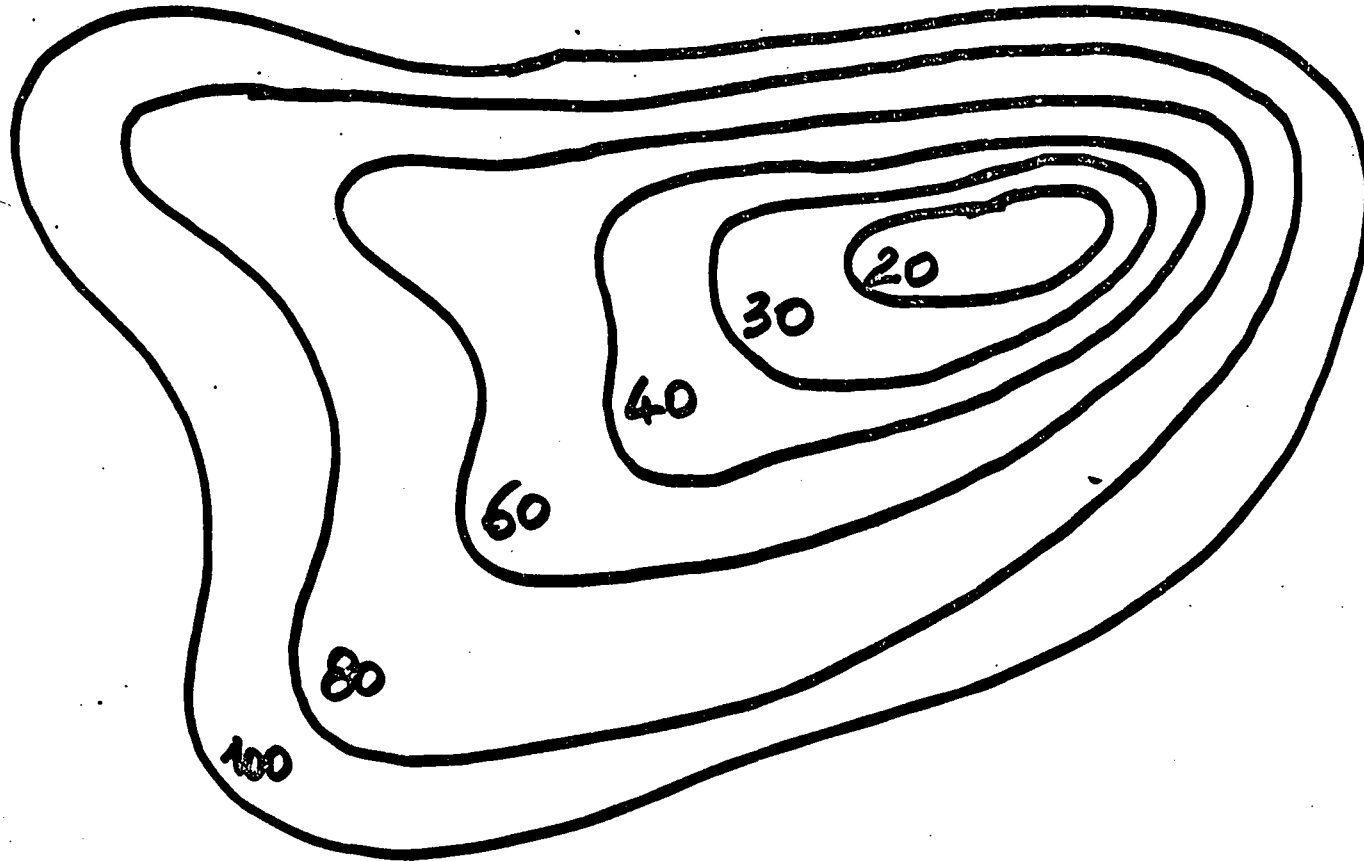
1°) Faire une campagne de sensibilisation auprès de la masse paysanne. Campagne qui aborderait tous les aspects - sanitaire et hygiénique - maintenance - participation financière.

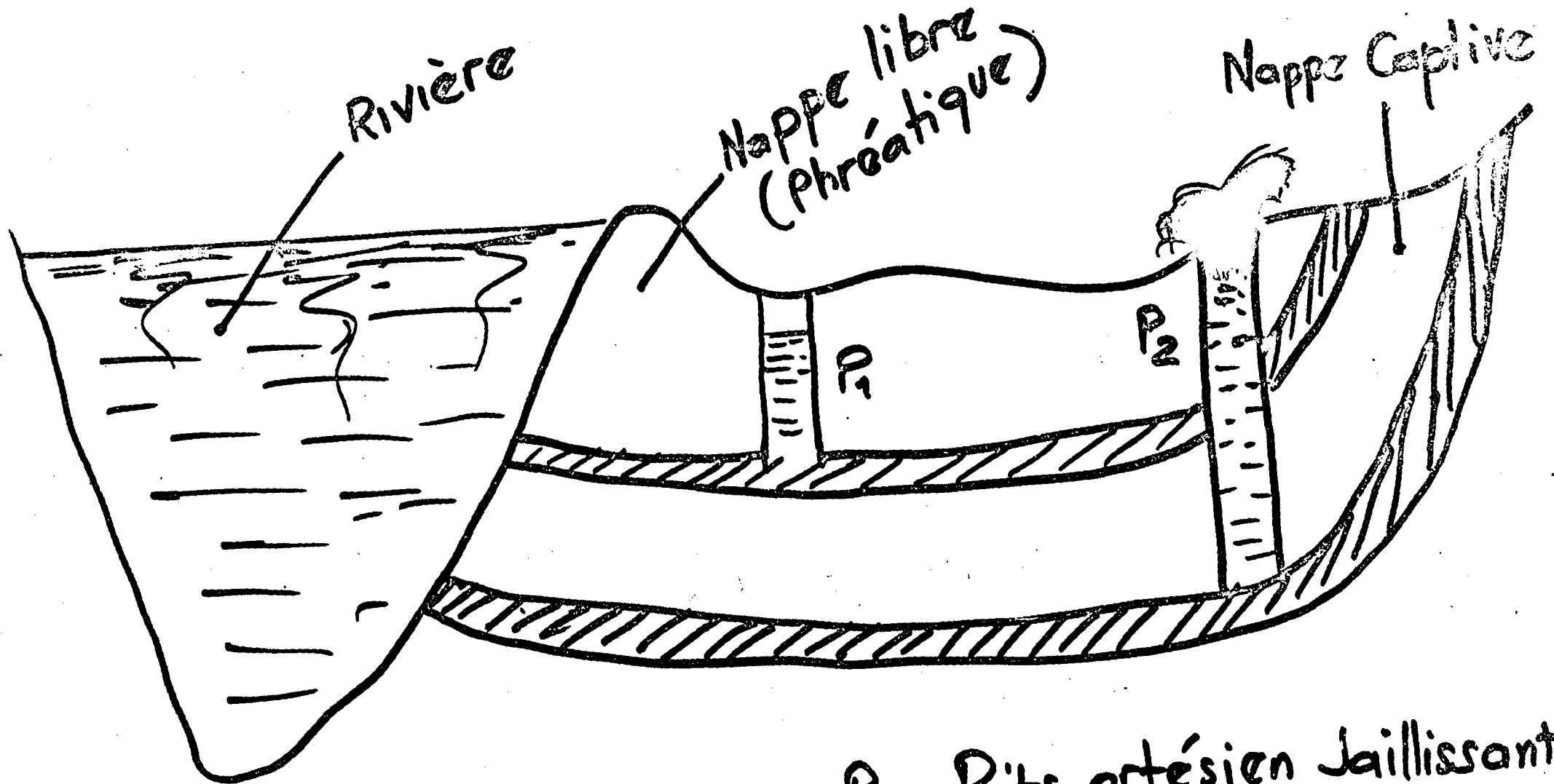
2°) Exiger comme condition première, la formation du futur responsable villageois, de telle sorte qu'il puisse être opérationnel une fois la réalisation de l'ouvrage achevée.

Voilà, Monsieur le Président, chers organisateurs et séminaristes, honorables invités, Mesdames et Messieurs, la petite réflexion que nous avons eu l'honneur de vous livrer sur le thème : GESTION ET EXPLOITATION DES EAUX SOUTERRAINES DANS LES ZONES RURALES.



# COURBES ISOPIEZOMETRIQUES





$P_1$  = Puits ordinaire

$P_2$  = Puits artésien jaillissant

# DIFFERENTS TYPES DE NAPPES

Niveau d'eau



R.V. de réglage



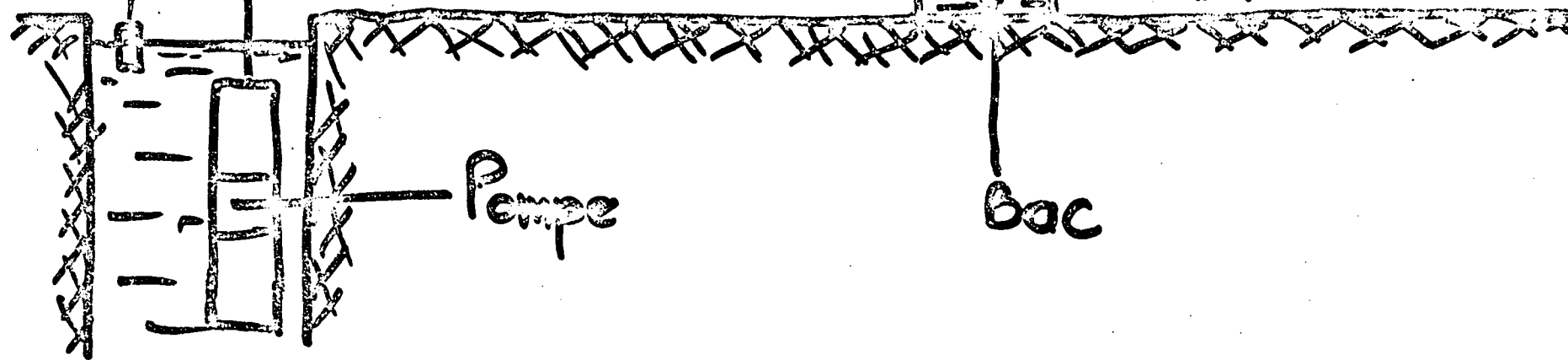
Venturi



R.V.



Riviere

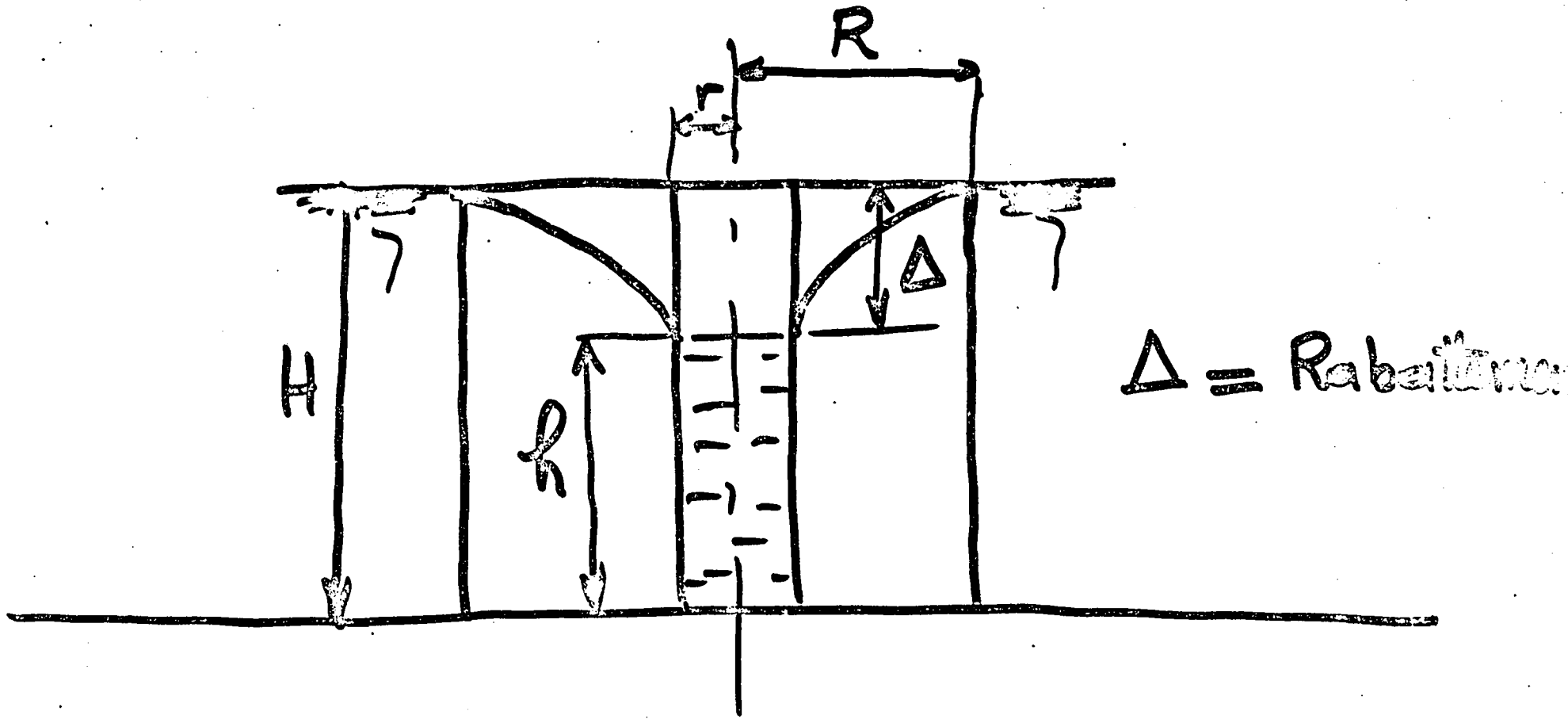


Pompe

bac

# ESSAIS DE DEBITS





# RABATTEMENT

Conférence présentée par Monsieur MOURI, SEEG

\* \* \* \*

Gestion des ressources en eaux souterraines en milieu rural

CAS DU GABON

Les principales applications de l'exploitation des eaux souterraines sont notamment :

- les puits traditionnels villageois qui sont des points individuels d'approvisionnement en eau par familles,
- les forages villageois équipés de pompes à motricité humaine (hydraulique villageoise),
- les forages villageois équipés de pompes solaires (expérience récente réalisée dans le cadre d'une opération de vulgarisation de l'énergie photovoltaïque),
- les forages équipés de groupes électropompes alimentant un système d'adduction d'eau de type urbain.

L'intérêt de l'hydraulique en milieu rural réside dans l'utilisation des eaux souterraines présentant des caractéristiques de potabilité intéressantes. La qualité de l'eau conditionne donc l'équipement du forage.

Dans certains cas de centres semi-urbains, le raccordement à une autre ressource que souterraine même de mauvaise qualité, apparaît difficilement envisageable.

C'est pour ce qui nous concerne le cas de certains centres côtiers.

Le problème est celui de l'exploitation d'une nappe d'eau douce en équilibre de densité sur de l'eau salée.

CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE

Le cordon littoral correspond à un bassin sédimentaire qui comporte des formations comprenant :

- des alluvions récentes et sables littoraux,
- la série des cirques qui est un ensemble d'argile, de gravier et de sables argileux.

Les sables côtiers sont le siège d'un réservoir aquifère alimenté par infiltration directe des pluies.

La configuration des zones exploitées correspondant à des bandes comprises entre la mer et une lagune, présage de l'existence d'aquifères en équilibre à densité sur des eaux salées.

Les travaux de reconnaissance ont pour but de confirmer cette hypothèse et déterminer la puissance de la nappe.

La méthode d'investigation correspondant à une prospection géophysique, basée sur des mesures de résistance, permet de déterminer l'épaisseur de l'aquifère à eau douce, ainsi que la transition probable eau douce - eau salée.

Les travaux de forages doivent tenir compte de la nature de l'aquifère :

- forages limités en profondeur pour éviter d'atteindre la zone d'interface eau douce - eau salée,
- exécution de piézomètres plus profonds permettant la surveillance de la montée de l'interface en cas de soutirages trop importants,
- équipement des forages avec des crépines adaptées au sable fin pour éviter le colmatage des ouvrages,
- exécution de plusieurs forages pour répartir les prélèvements afin d'éviter des soutirages trop importants qui provoqueraient un envahissement du forage par les eaux saumâtres.

#### QUALITE DE L'EAU

Les analyses d'eau démontrent que les caractéristiques de l'eau sont mauvaises : eaux agressives, très peu minéralisées et colorées.

Un traitement est nécessaire pour en améliorer la qualité. Les filières se composent de :

- 1 aération par pulvérisation mécanique,
- 1 décantation suivie d'une filtration,
- 1 reminéralisation,
- 1 chloration.

#### CONCLUSION

Cette étude de cas pose le problème de la qualité des eaux souterraines essentiellement exploitées pour l'approvisionnement en eau des zones rurales.

Ces problèmes de qualité conditionnent généralement l'aboutissement du projet (abandon ou mise en oeuvre de l'équipement du forage selon que l'eau est de bonne qualité ou non).

Il convient de commencer à envisager le traitement des eaux souterraines quand la nécessité se fait sentir. Ce qui pose à nouveau le problème de la participation communautaire à la maintenance des ouvrages, à cause du niveau de compétence des utilisateurs.

Au Gabon, pour régler les problèmes d'équipement des zones rurales, des mesures relevant d'une volonté politique élèvent la plupart de localités de l'intérieur en centres administratifs dont le bénéfice des équipements de types urbains comme l'adduction d'eau devient automatique. Ces adductions sont gérées par la société d'exploitation dans le cadre de la convention de concession déjà signée avec l'Etat.

# CENTRE DE MAYUMBA

## ETUDE HYDROGEOLOGIQUE PAR PROSPECTION ELECTRIQUE

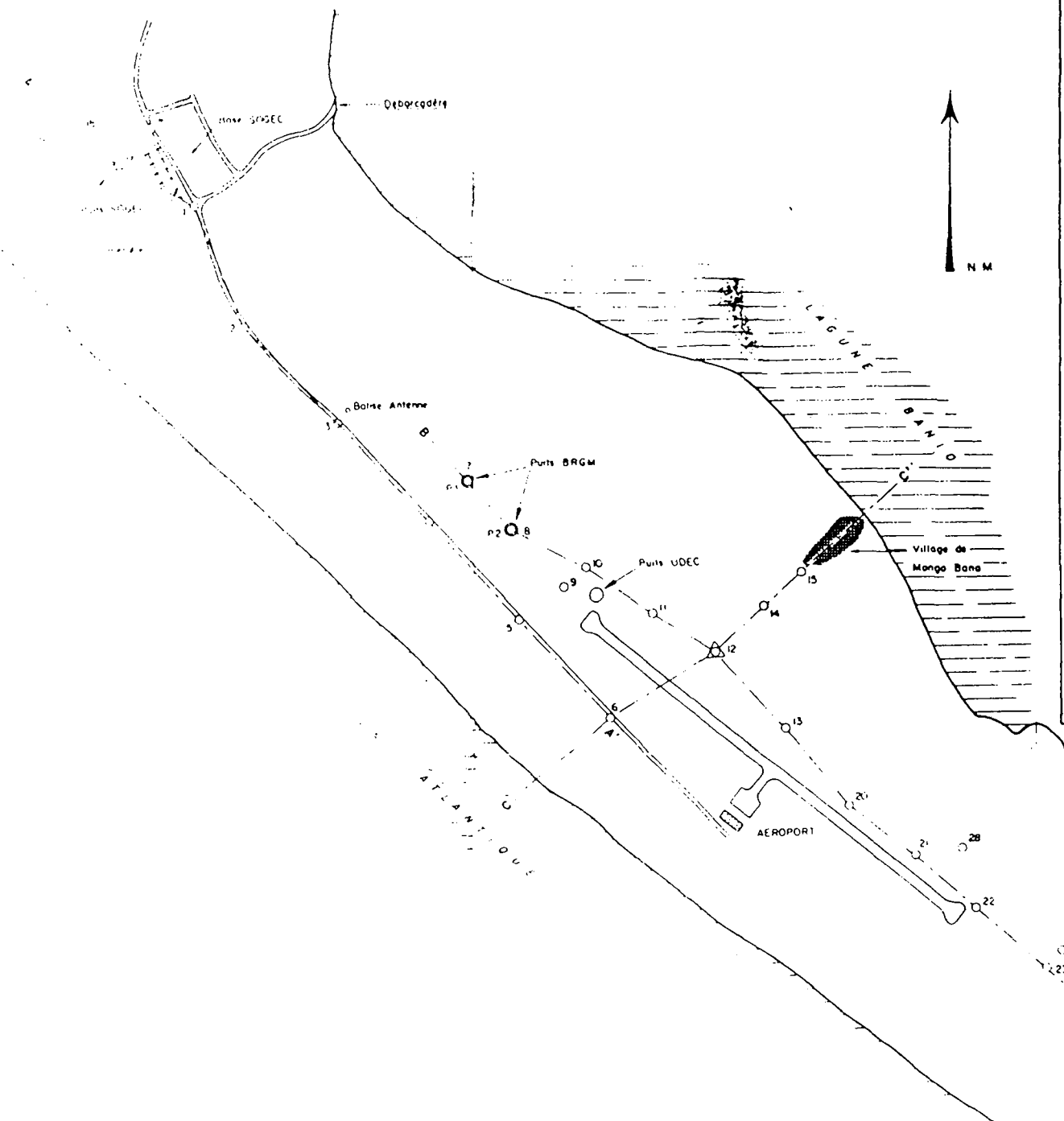
### PLAN DE SITUATION

ECHÉLLE 1/10 000

#### LEGENDE

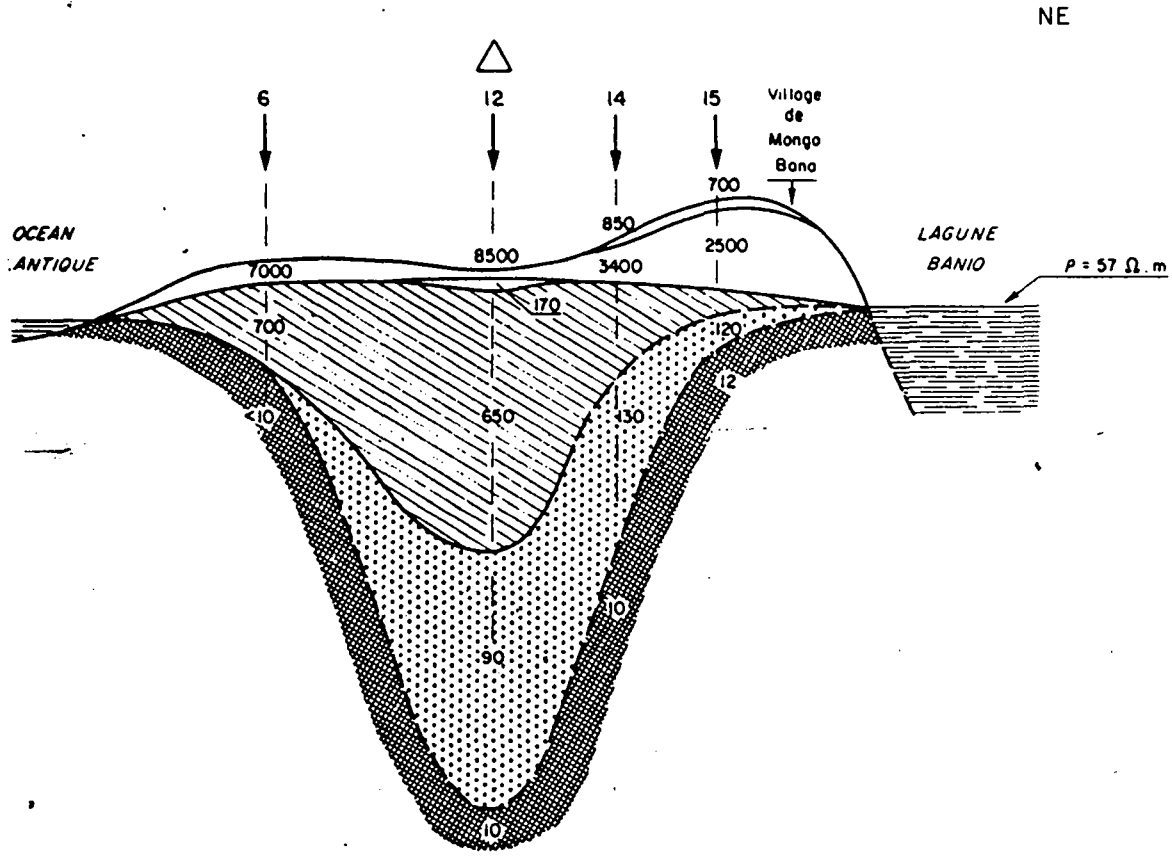
- 5 Sondage électrique et son numéro
- B — B' Profil interprétatif et sa désignation
- Puits
- △ Forage proposé

*Le plan de situation a été relevé à la douzième et au septième.  
Les lignes du cadastre littoral ont été relevées sur la carte au 1/50 000 et ce fait sans approximation.*









CENTRE DE MAYUMBA

ETUDE HYDROGEOLOGIQUE  
PAR PROSPECTION ELECTRIQUE









PROFIL INTERPRETATIF : C C'

ECHELLE

→ 1/10000

↑ 1/500

LEGENDE

-  Sondage électrique et son numéro
-  Terrain naturel
-  Résistivité de l'Horizon identifié en Ohms.m
-  Limite de l'Horizon identifié
-  Limite probable d'Horizon non identifiable
-  Aquifère à eau douce
-  Zone de transition probable
- 

RESULTATS D'ANALYSES

\* \* \*

|                               |   |
|-------------------------------|---|
| Température                   | 5,3° C  |
| Aspect                        | Eau légèrement trouble                                    |
| Odeur                         | Sans  |
| pH d'équilibre                | 7,81  |
| Dureté totale                 | 0,395 degré   |
| Dureté calcique               | 0,15 degré  |
| Dureté magnésienne            | 0,245 degré   |
| TA                            | 0 degré   |
| TAC                           | 0,5 degré   |
| TAC équilibre                 | 10 degrés   |
| Calcium (Ca <sup>2+</sup> )   | 0,6 mg/l (0,03 meq/l)                                     |
| Magnésium (Mg <sup>2+</sup> ) | 0,6 mg/l (0,049 meq/l)                                    |
| Sodium (Na <sup>+</sup> )     | 4,3 mg/l (0,184 meq/l)                                    |
| Potassium (K <sup>+</sup> )   | 0,7 mg/l (0,017 meq/l)                                    |
| Chlorures                     | 7 mg/l (0,197 meq/l)                                      |
| Sulfates                      | 0 mg/l  |
| (Fe <sup>2+</sup> )           | 0,4 mg/l  |
| Carbonates                    | CO <sub>3</sub> (0 mg/l)                                  |
| Matières organiques           |   |
| Milieu acide                  | 18 mg O <sub>2</sub> /l                                   |
| Milieu basique                | 8 mg O <sub>2</sub> /l                                    |
| Bicarbonates                  | (H CO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) 6,1 mg/l<br>0,100 meq/l |
| Hydrates                      | (OH <sup>-</sup> ) 0 mg/l                                 |
| CO <sub>2</sub> libre         | 41,8 mg/l   |

Conclusion : eau très peu minéralisée carbonatée sodique et chlorurée sodique très agressive chimiquement non potable



**fondation de l'eau**

**COLLOQUE INTERNATIONAL**  
***Sessions de perfectionnement technique***

---

**EAU - FORMATION - DEVELOPPEMENT**  
ABIDJAN - 2-15 FEVRIER 1986

---

SESSION SPECIALE

Gestion Technique des Services  
d'Alimentation en Eau Potable

5 février 1986

Conférence présentée par Monsieur BORDES, CIEH

\* \* \* \*

Gestion technique des services d'alimentation en eau potable

L'étude de la réduction des coûts d'exploitation suppose que l'on a suffisamment cerné ceux-ci grâce notamment à une comptabilisation analytique des dépenses suivie de ratios permettant la comparaison des résultats d'une année sur l'autre ou d'une Société de distribution par rapport aux autres.

Déjà l'analyse des postes des comptabilités générales tenues par les Sociétés Africaines de distribution d'eau est riche d'enseignements.

Ainsi par exemple, les comptes d'exploitation générale de 2 d'entre elles permettent d'apprendre la répartition des coûts suivants par m<sup>3</sup> consommé en F CFA et en 1983).

|                            | <u>Société A</u> | <u>Société B</u> |
|----------------------------|------------------|------------------|
| Personnel                  | 33.68            | 32.92            |
| Force motrice              | 27.14            | 37.71            |
| Produit de traitement      | 3.25             | 14.99            |
| Carburant                  | 8.00             | 9.85             |
| Amortissement et provision | 7.56             | 49.94            |
| Impôts et taxes            | 1.11             | 5.01             |
| Frais financiers           | 1.22             | 5.59             |
| Autres frais               | 18.32            | 32.40            |
| <u>Totaux</u>              | <u>100.28</u>    | <u>188.41</u>    |

.../...

La seule comparaison de ces chiffres permet déjà à la Société B de se poser les questions suivantes :

- Quels sont les volumes traités ?
- Quels sont les règles de calcul de l'amortissement ?
- Quelle est la décomposition des "autres frais" ?
- Comment se fait-il que les frais de personnel soient sensiblement les mêmes alors que l'on dénombre 16 agents pour 1000 abonnés dans la Société A et 33 agents pour 1000 abonnés dans la Société B; quelle est la proportion d'agents, d'exécution des branchements particuliers
- Etc...

La comptabilité générale donne donc des valeurs intéressantes dans leur globalité mais souvent insuffisantes pour la recherche des économies de gestion.

Toutes les Sociétés de distribution d'eau devraient, disposer d'un compte rendu technique et d'un plan comptable analytique permettant de dégager des ratios de contrôle comparables parmi lesquels on pourrait citer :

- la consommation d'énergie par m<sup>3</sup> produit
- la consommation de produits de traitement par m<sup>3</sup> traité
- les frais de production de l'eau par m<sup>3</sup> consommé
- les frais du service des abonnés par abonné et par an
- les frais généraux par rapport aux dépenses totales d'exploitation
- les recettes et les dépenses d'installation de branchement particulier
- les frais d'exploitation assainissement par usager du service

Disposant de ces outils de gestion chaque Société serait en mesure de concentrer son attention et ses efforts sur les postes les plus coûteux : économies d'énergie, de produits de traitement ou de personnel, mode de calcul des amortissements etc...

Cette comptabilité analytique et ces ratios appliqués à chaque centre de distribution à l'intérieur de chaque Société permettrait de diffuser l'outil de gestion au niveau de chaque chef de centre, de déléguer ainsi la responsabilité des économies de gestion et de fixer chaque année des objectifs concrets.

.../...

Dans son intervention le CIEH, pourrait développer cet aspect de la recherche d'économies à partir de la constatation des résultats; elle comprendrait donc:

- Une série de ratios techniques et financiers caractéristiques de la production et de la distribution

- Une proposition de comptes analytiques destinés à permettre l'établissement de ces ratios.

- Une méthode générale de contrôle des résultats techniques ou financiers.

-----oOo-----

Annexe I

Sociétés de Distribution d'Eau

\* \* \*

RATIOS  
COMMENTAIRES

A. Consommations/Abonné/an

- 607 pour l'Afrique et 376 pour la France en moyenne : en rapport avec le nombre d'habitant<sup>s</sup>/abonné : 8 (?) pour l'Afrique et 4, - 6 pour la France : on peut supposer que les besoins induits par le climat Africain sont compensés par le contexte socio-économique Africain.

B. Bornes Fontaines :

On peut constater que l'installation de bornes fontaines forte densité (d'où relativement faible consommation unitaire) a été favorisée.

- La consommation par les BF représente 17 % de la consommation totale (voir ratios suivants).

C. Repartition des abonnés et des consommations

- 89 % des abonnés consomment 45 % du volume distribué .
- Les administrations sont de gros consommateurs (et mauvais payeurs)
- La densité des abonnés par km de réseau est presque la même qu'en France.

D. Pertes d'Eau

- Le rendement moyen est le même qu'en France mais l'indice des pertes en m<sup>3</sup>/j/hm est doublé en Afrique.

.../...



### E. Frais/m<sup>3</sup> vendu

- Importance des "autres frais" (FG - ACHATS - s/straitants) : la ventilation n'est pas apparente au niveau du C.E. : Il faudrait dépouiller les Ctes analytiques: encore faudrait-il que toutes les Sociétés aient le même plan comptable analytique.
- Importance des postes Electricité + carburants- lubrifiants (dont G.O)  
Le coût de l'énergie /m<sup>3</sup> est triple de celui de la France  
La consommation spécifique en KWh/m<sup>3</sup> est 0.52 KWh en Afrique et 0.30 KWh en France.

Il y a donc certainement à surveiller les rendements de pompes et à utiliser les tarifs préférentiels de nuit.

- Relativement faible importance du poste produit chimique  
beaucoup de m<sup>3</sup> produits ne nécessitent qu'un traitement simple.

### F. Frais de personnel :

- Les ventilations entre distribution d'eau et distribution d'électricité ne sont pas aisées.
- Les frais de personnel de certaines sociétés peuvent être par agent 5 fois ceux d'autres.
- Le nombre d'agent pour 1000 abonnés est en moyenne 6 fois plus élevé qu'en France : Dans les 2 cas il s'agit des agents employés au service des eaux, de l'assainissement et des travaux.

### G. Amortissement et frais financiers :

Plusieurs cas peuvent être rencontrés :

- Certaines sociétés ont beaucoup d'amortissements et peu de frais financiers
- D'autres ont beaucoup de frais financiers et relativement peu d'amortissement : c'est possible mais étonnant.

### H. Jour de pointe annuel en distribution :

- Cette valeur, et son évolution dans le temps, détermine l'échéance du renforcement de la production et du stockage.
- Aux volumes journaliers pompés il faut ajouter les variations journalières des réservoirs.

Annexe II

Sociétés de Distribution d'Eau

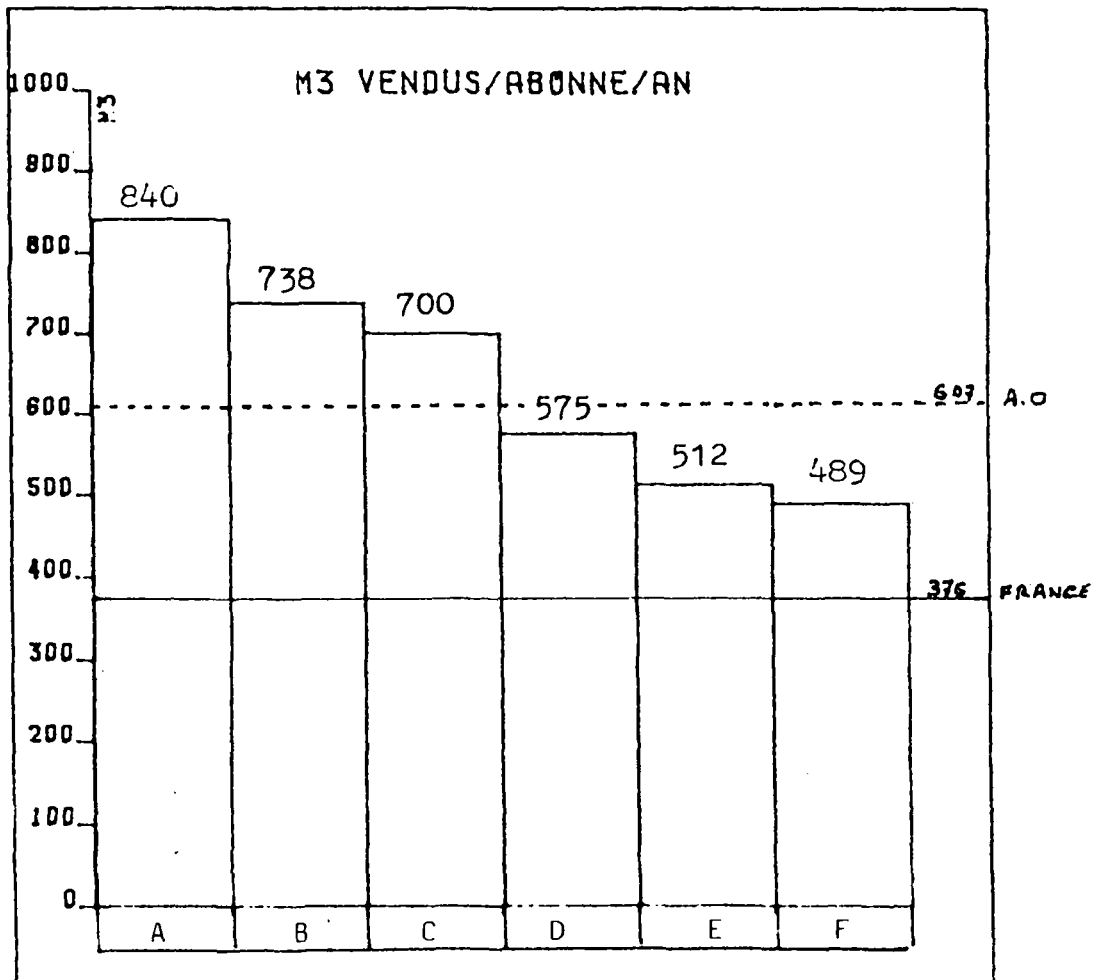
\* \* \*

RATIOS TECHNIQUES

Consommations

Volumes consommés (6 sociétés) 186 868 000 m<sup>3</sup>  
Nombre d'abonnés 306 919  
Consommé/abonné/an 607 m<sup>3</sup>

dont Volumes consommés/abonnés particuliers/an :  
404 m<sup>3</sup> (pour 95858 abonnés)



Sociétés de Distribution d'Eau

\* \* \*

RATIOS TECHNIQUES

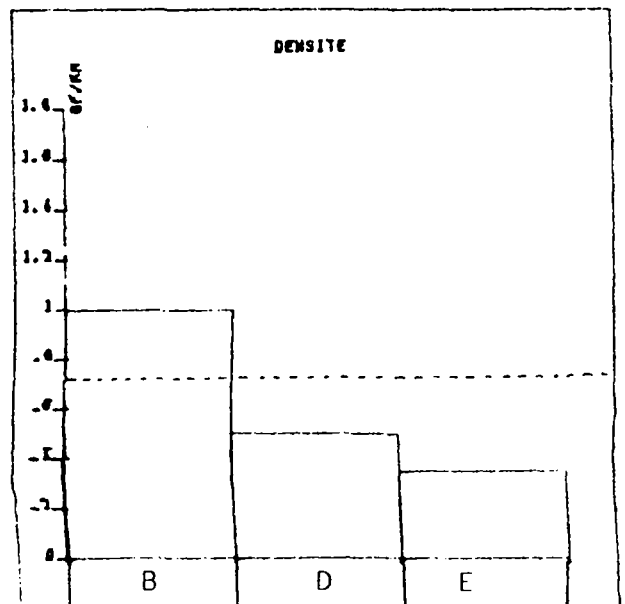
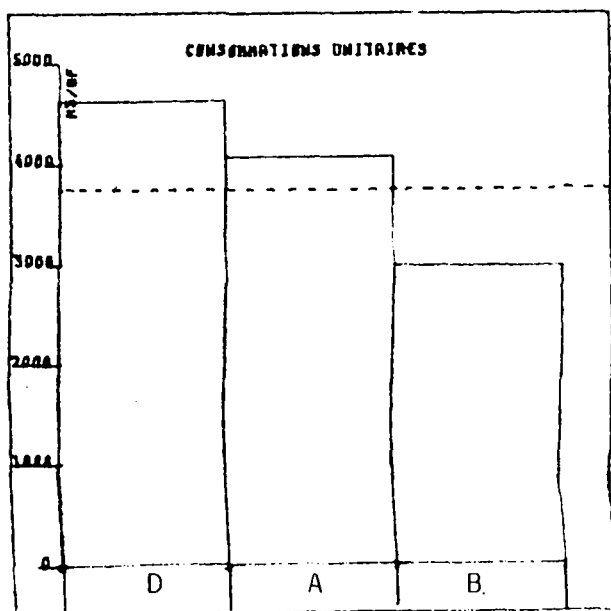
BORNES FONTAINES

A - Consommations Unitaires

|   |                           |
|---|---------------------------|
| Nombre de Bornes Fontaines (3 sociétés) | 3 657                     |
| Volumes consommés                       | 13 899 000 m <sup>3</sup> |
| Volumes consommés/BF/an                 | 3 800 m <sup>3</sup>      |

B - Densité

|                           |        |
|---------------------------|--------|
| Nombre de BF (3 sociétés) | 1 677  |
| Kilométrages de réseaux   | 2 555  |
| Nombre de BF/km           | 0.66   |
| Espacement moyen entre BF | 1,5 km |



Annexe IV

Sociétés de Distribution d'Eau

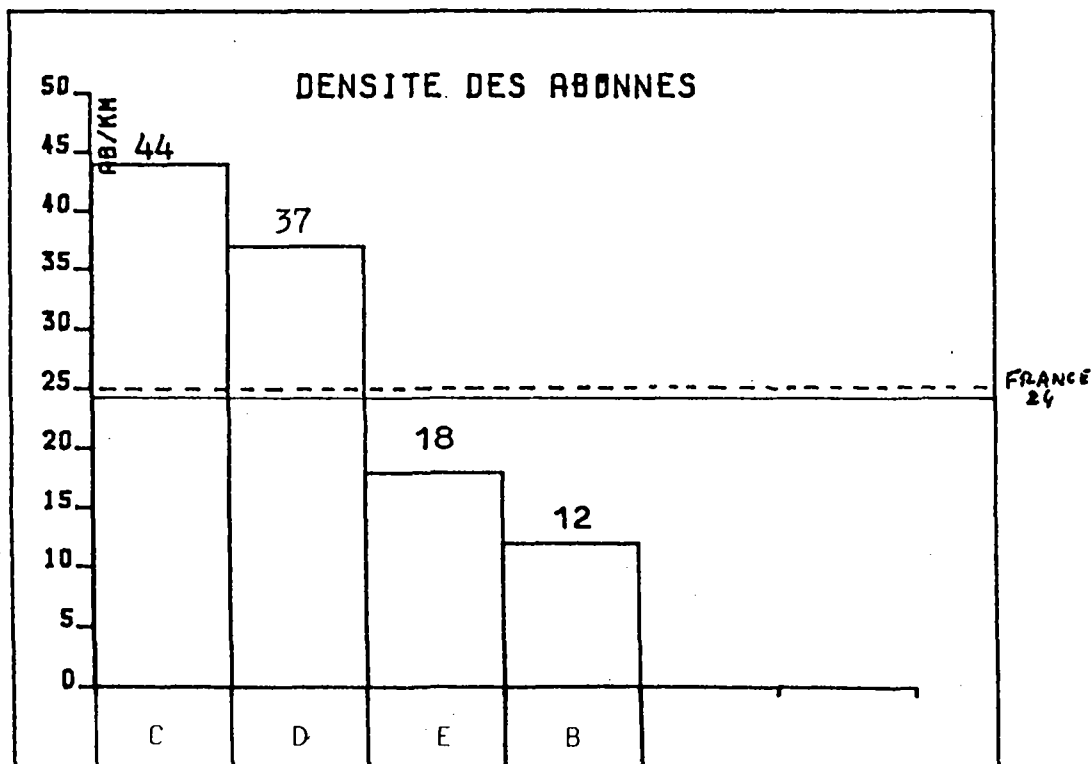
\* \* \*

RATIOS TECHNIQUES

A- Repartition

| <u>ABONNES</u><br>(pour 3 Sociétés) |  | Nb      | %     | Consommation | %     |
|-------------------------------------|--|---------|-------|--------------|-------|
| Abonnés particuliers                |  | 95 858  | 89 %  | 38 700 000   | 45 %  |
| " Industriels                       |  | 4 095   | 4 %   | 15 838 000   | 18 %  |
| " Administrations                   |  | 4 216   | 4 %   | 16 874 000   | 20 %  |
| " BF                                |  | 3 657   | 3 %   | 13 899 000   | 17 %  |
| Totaux                              |  | 107 826 | 100 % | 85 311 000   | 100 % |

B- Densité : Nombre d'abonnés (4 sociétés) : 76 360  
 Kilométrage de réseaux : 3 095  
 Abonnés/Km : 25



Sociétés de Distribution d'Eau

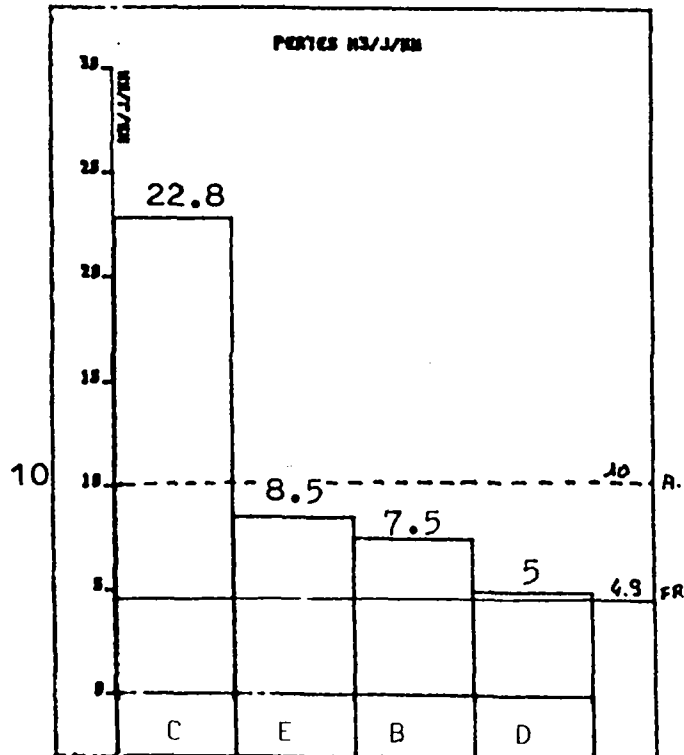
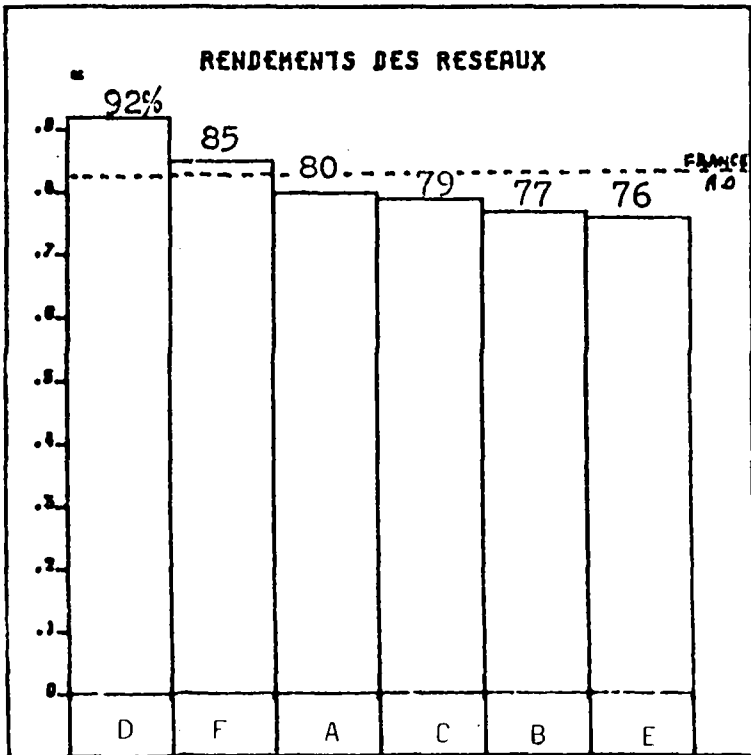
\* \* \*

RATIOS TECHNIQUES

PERTES D'EAU

A - Rendements : Pour 6 Sociétés : Volumes produits : 227 430 000 m<sup>3</sup>  
 Volumes consommés et vendus : 186 868 000 m<sup>3</sup>  
 Volumes perdus/an: 40 562 000 m<sup>3</sup>  
 Rendement moyen : 82 %

B- Pertes m<sup>3</sup>/j/hm Pour 4 Sociétés : Volumes produits: 58 768 000 m<sup>3</sup>  
 " consommés et vendus : 47 487 000 m<sup>3</sup>  
 " perdus : 11 281 000 m<sup>3</sup>  
 Longueur des reseaux/km : 3083 km  
 Volumes perdus/J/km : 10 m<sup>3</sup>/j/km



Annexe VI

Sociétés de Distribution d'Eau

\* \* \*

RATIOS TECHNICO-FINANCIERS

Dépenses par m<sup>3</sup> vendu

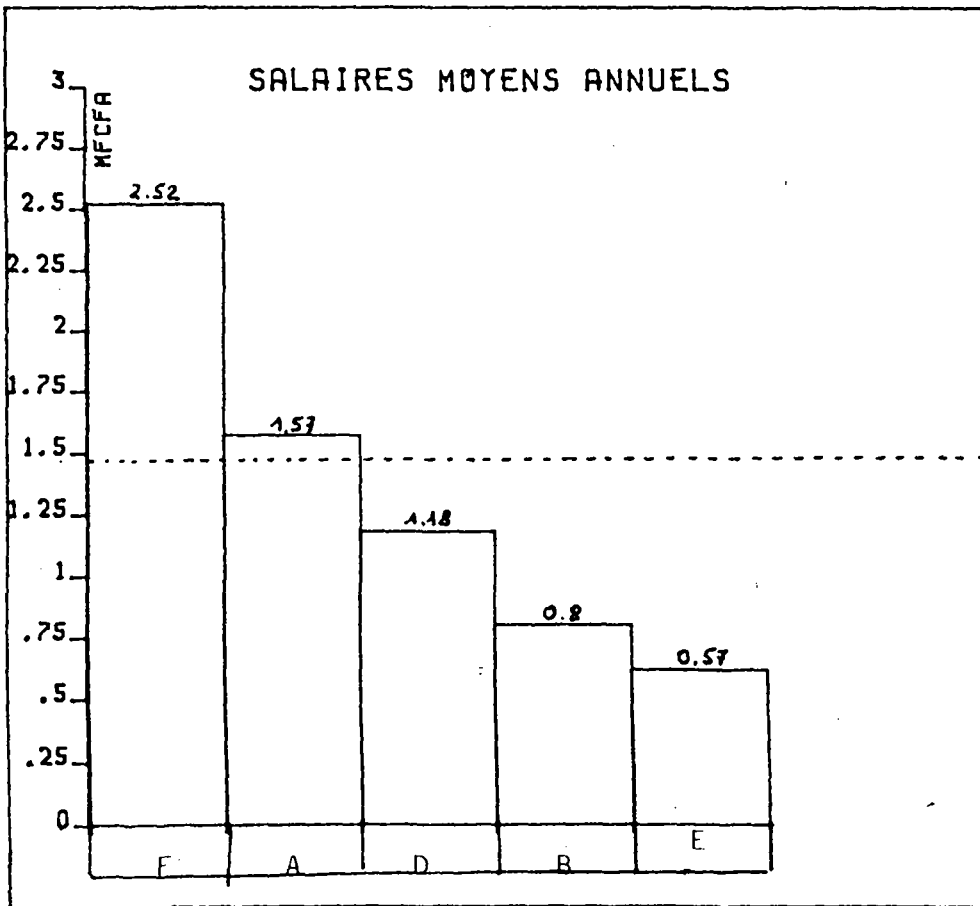
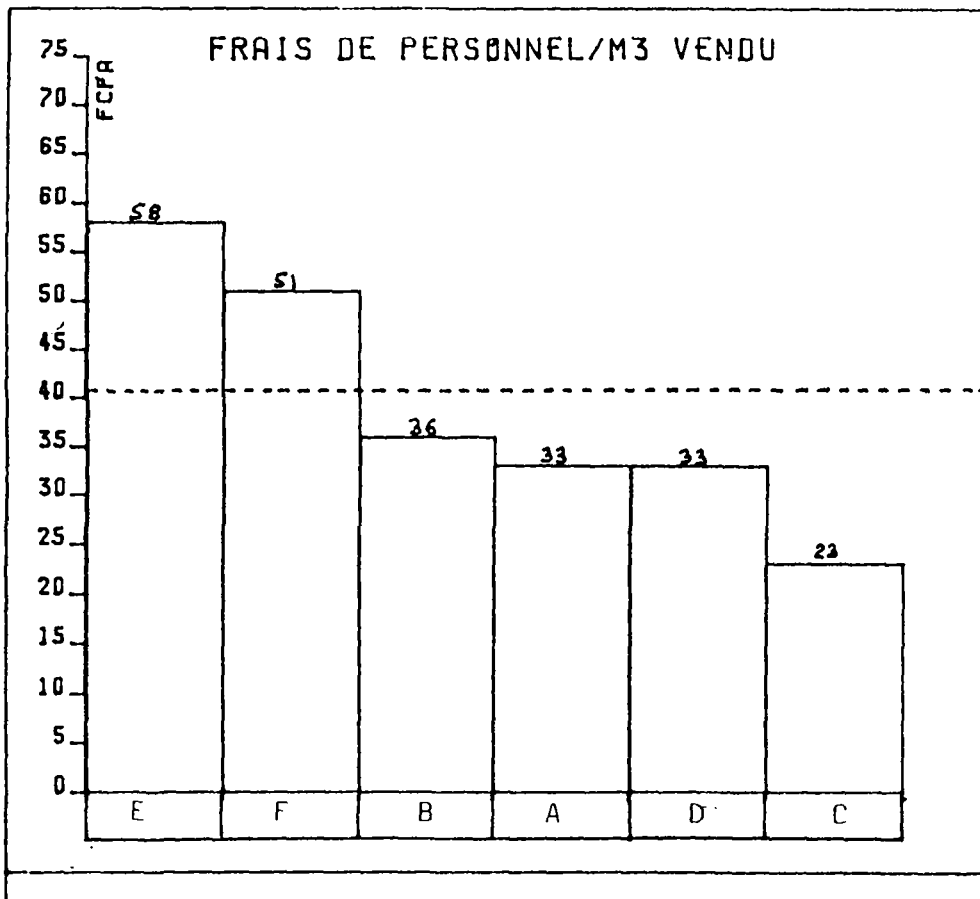
Pour 6 Sociétés

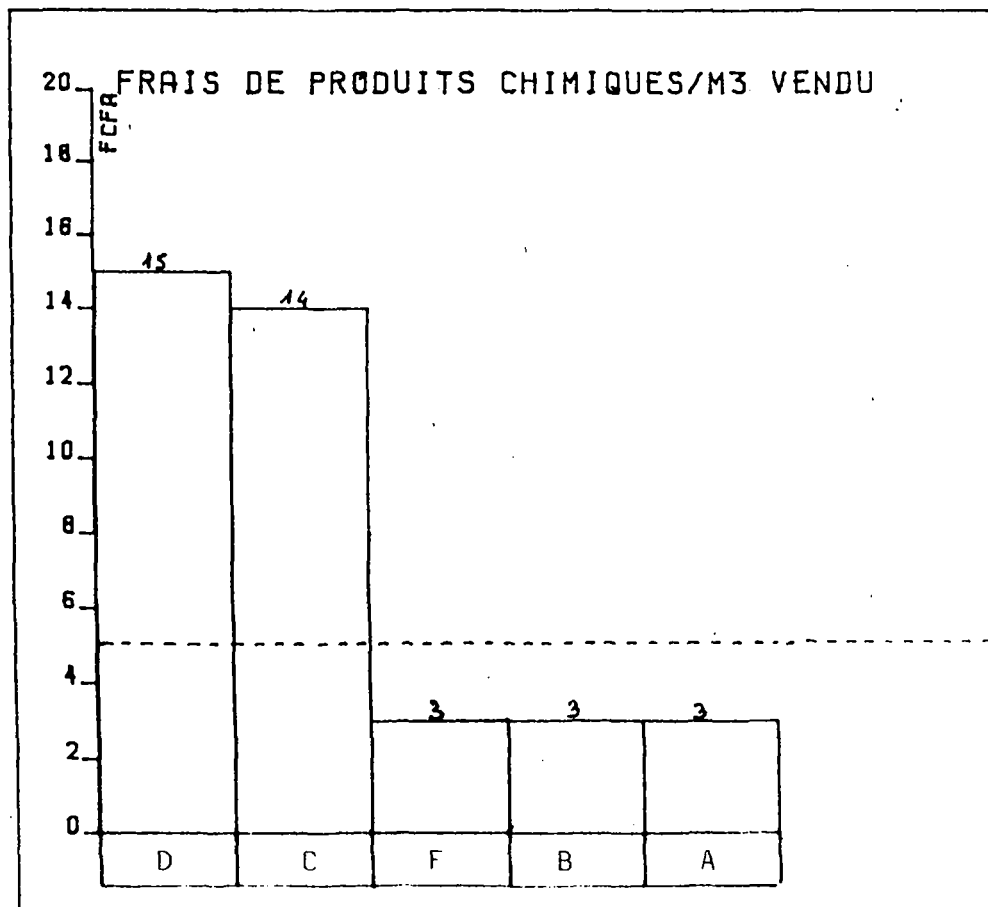
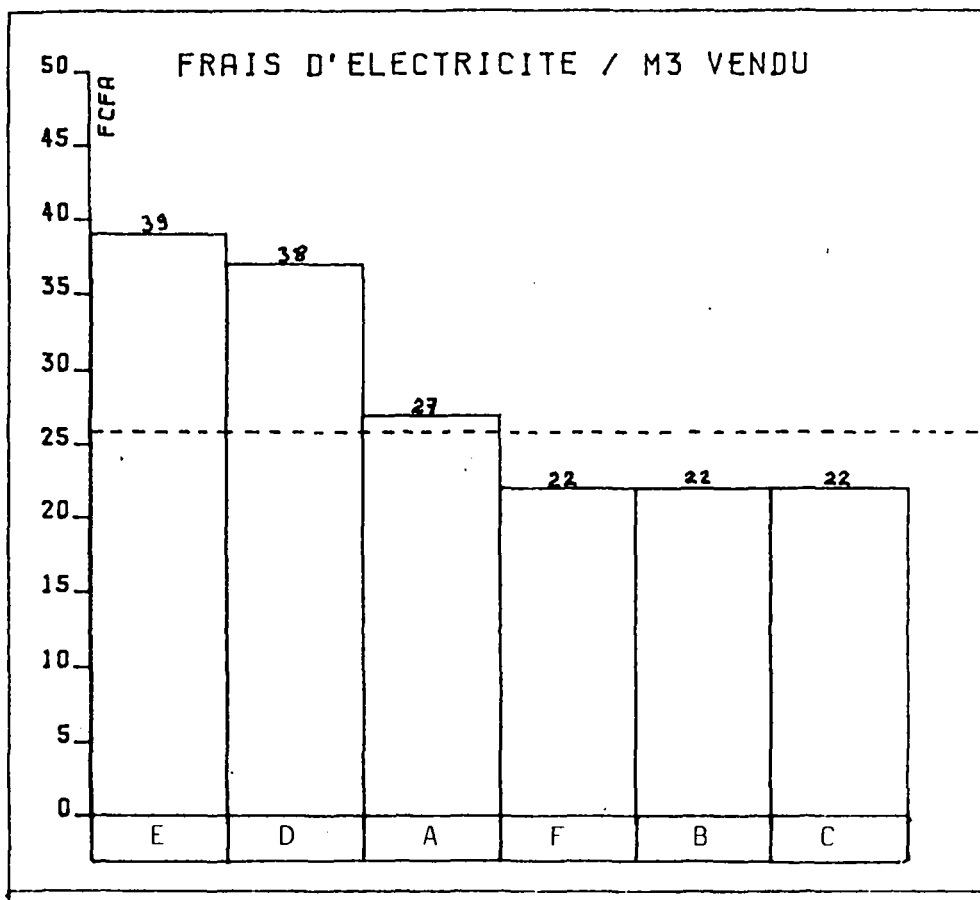
|                              |   |    |
|------------------------------|---|----|
| Personnel*                   | : | 41 |
| Electricité                  | : | 25 |
| Produits de traitement       | : | 4  |
| Carburants-lubrifiants*      | : | 8  |
| Autres frais*                | : | 49 |
| Amortissements et provisions | : | 24 |
| Impôts et taxes              | : | 3  |
| Frais financier              | : | 5  |

|               |  |            |
|---------------|--|------------|
| <u>Totaux</u> |  | <u>159</u> |
|---------------|--|------------|

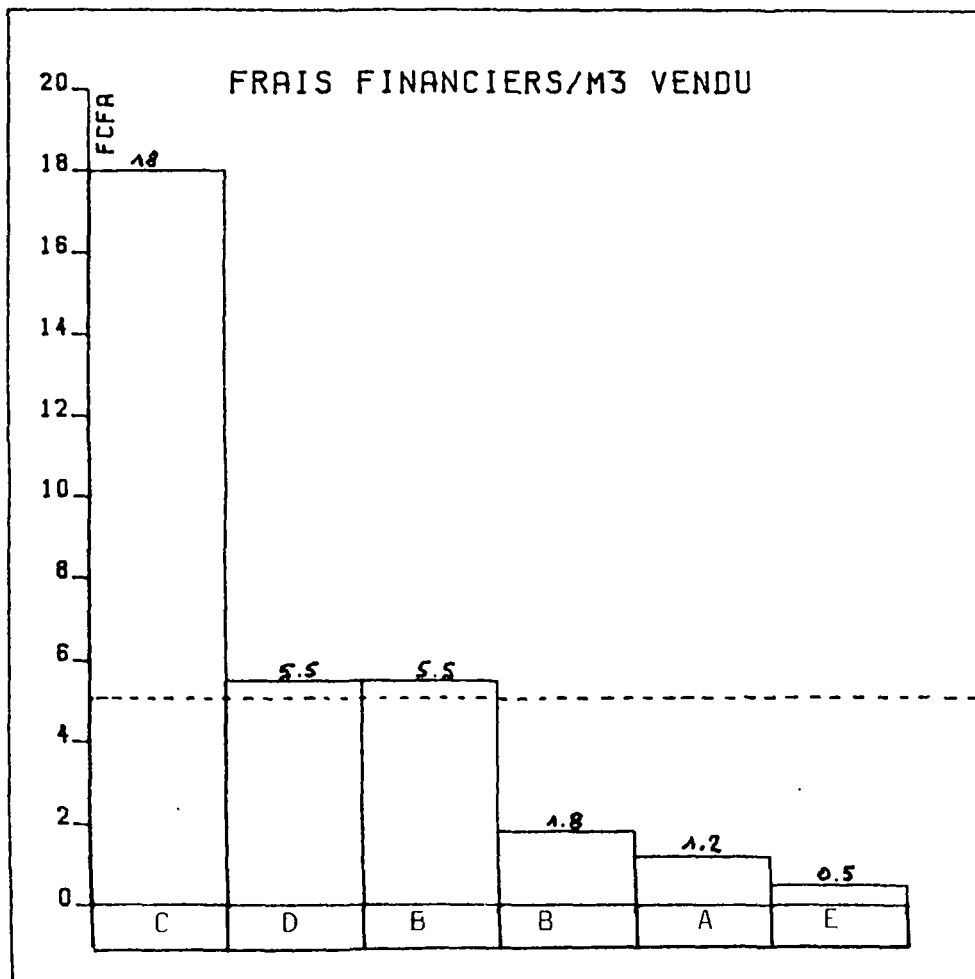
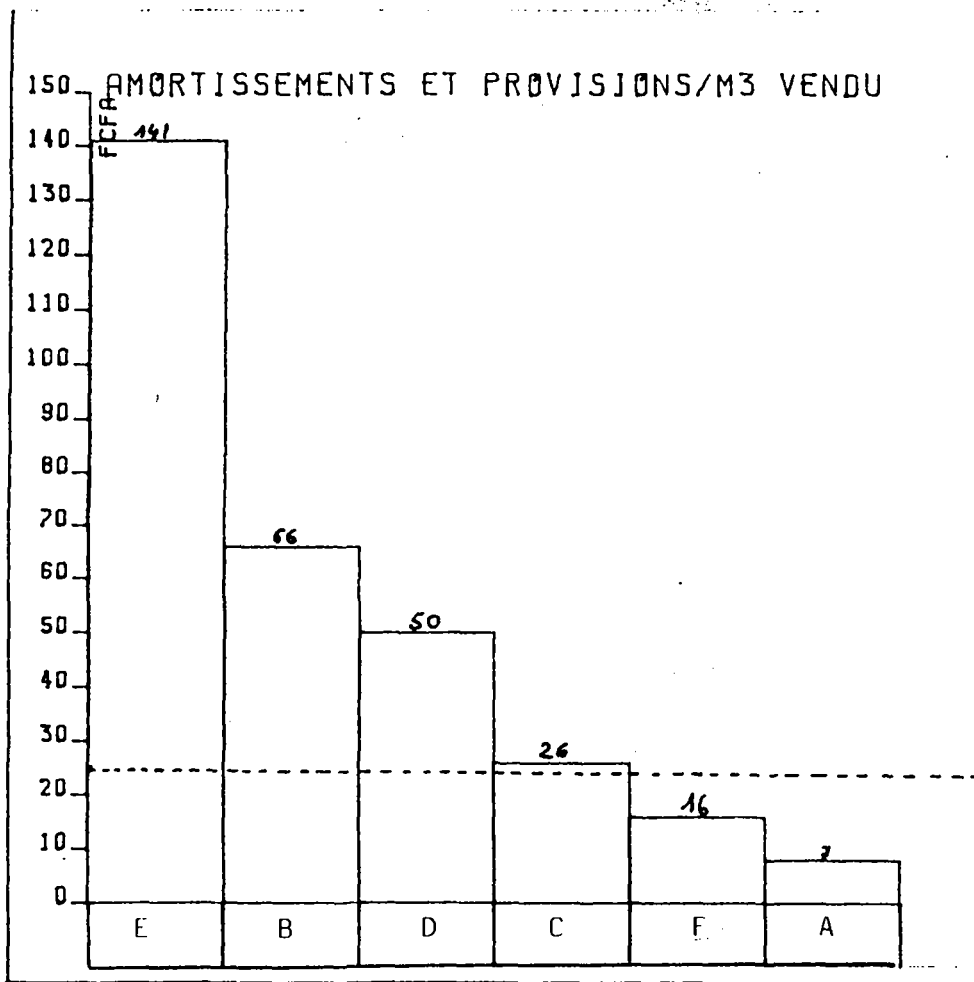
---

\* valeurs par excès, une partie des frais étant certainement imputables à l'assainissement ou aux travaux.





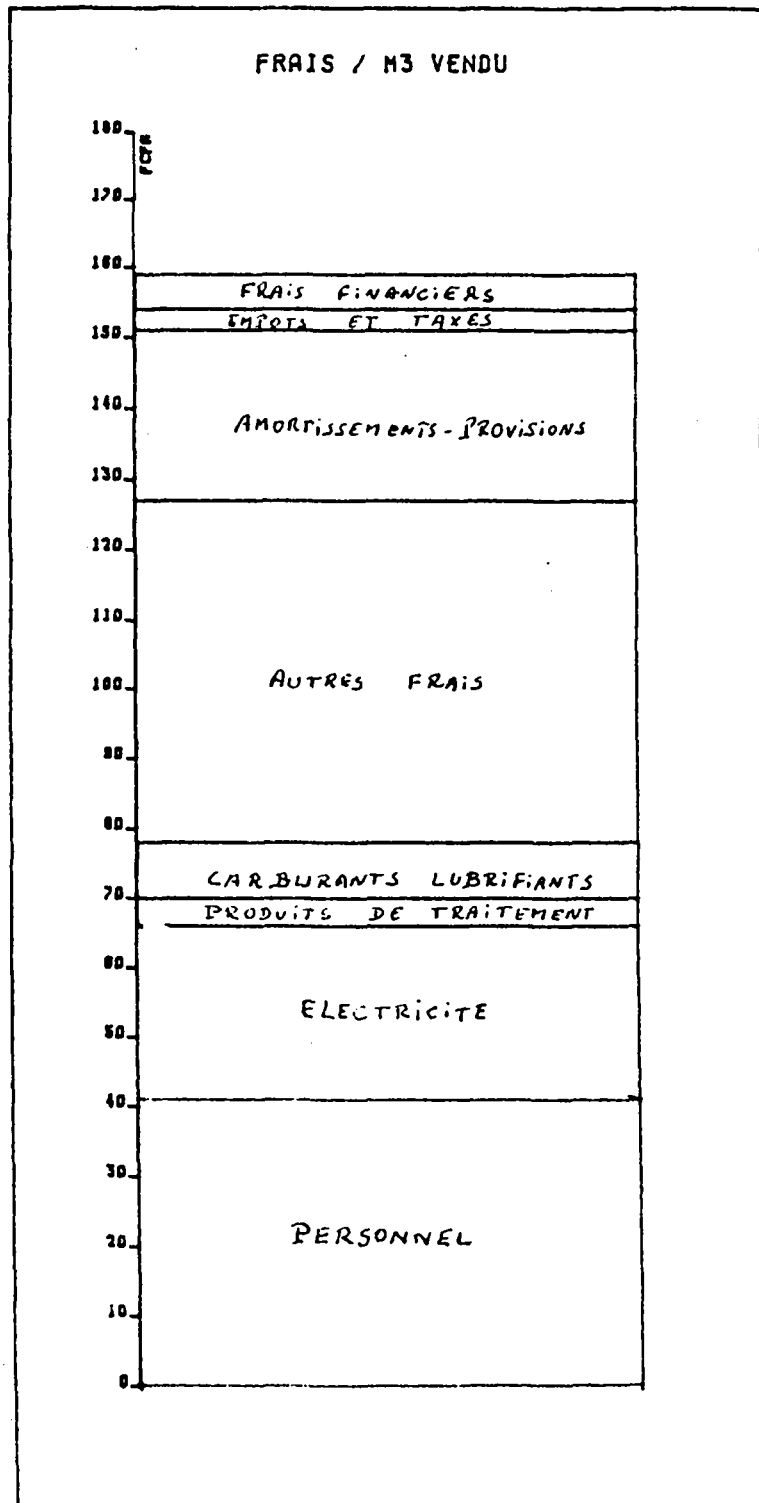




Annexe VII

POUR 6 SOCIETES

VALEURS PAR EXCES, UNE PARTIE DES FRAIS  
ETANT CERTAINEMENT IMPUTABLES  
A L'ASSAINISSEMENT ET AUX TRAVAUX



## Sociétés de Distribution d'Eau

\* \* \*

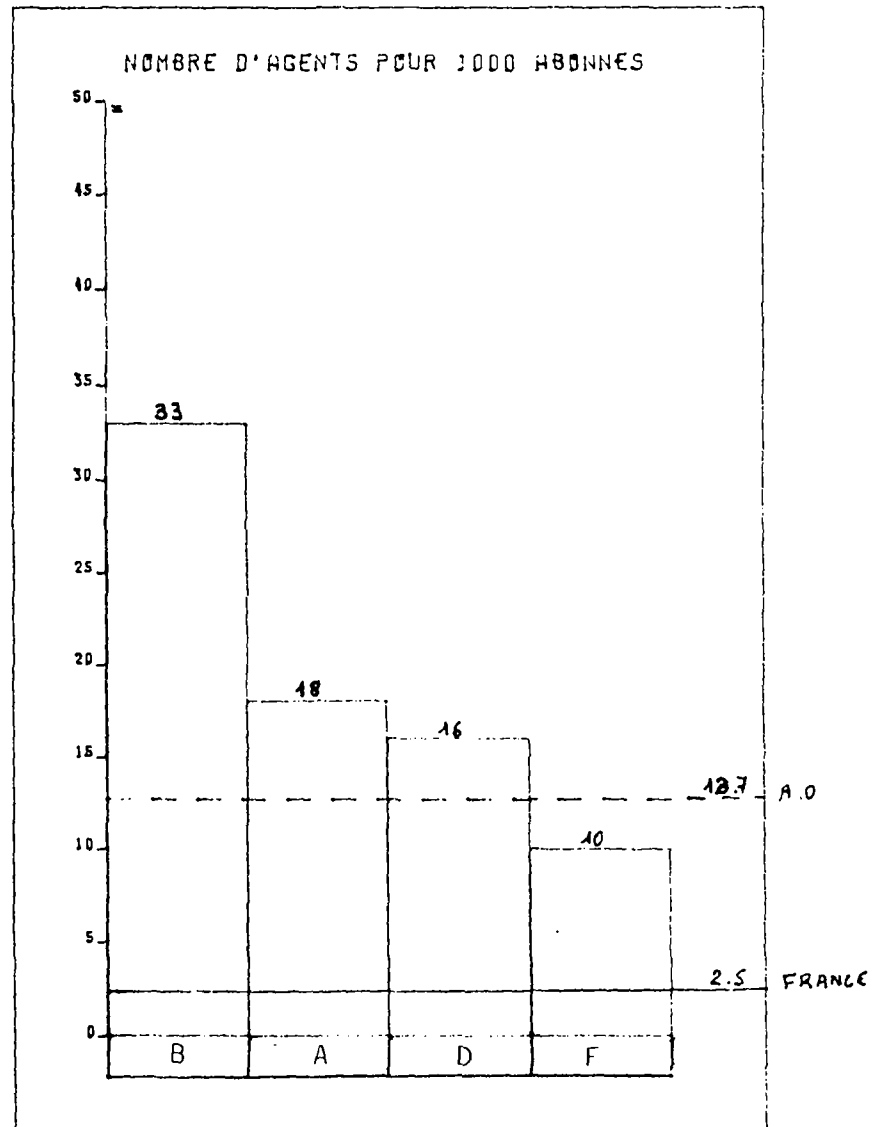
RATIOS TECHNIQUES

Nombres d'agents pour 1000 abonnés

(4 sociétés)

FRANCE

|                            |         |         |
|----------------------------|---------|---------|
| Nombre d'agents            | 3698    | 4982    |
| Nombre d'abonnés           | 267 500 | 2129000 |
| Nombre d'agent/1000abonnés | 13.7*   | 2,3     |



\* Chiffre par excès, une partie du personnel plus ou moins importante étant affectée aux travaux ou à l'assainissement.

Annexe IX

## Sociétés de Distribution d'Eau

\* \* \*

RATIOS DIVERS

|   | Afrique          | France   |
|---|------------------|----------|
| 1. Nombre d'habitants/abonnés   | 8 (?)            | 4,6      |
| 2. Consommation l/hab/jour  | 208 (6 sociétés) | 223      |
| Tous besoins confondus (domestiques municipaux, industriels, B.F., administrations)                 |                  |          |
| 3. Energie électrique/m <sup>3</sup> produit : 0.52 KWh (3 sociétés)                                |                  | 0,30 KWH |
| 4. Répartition des frais d'exploitation/m <sup>3</sup> consommés (hors Amortissement et provisions) |                  |          |

|                        | Afrique | France |
|------------------------|---------|--------|
| Personnel              | 31 %*   | 40 %   |
| Produits de traitement | 3 %     | 2 %    |
| Energie                | 24 %    | 8 %    |
| Autres frais           | 38 %    | 49 %   |
| Frais financiers       | 4 %     | 1 %    |

Autres ratios techniques importants :

Prix moyen du KWh  
Taux de rotation des stocks  
Jour de pointe annuel en distribution

\* Y compris personnel affecté aux travaux ou à l'assainissement.



**COLLOQUE INTERNATIONAL**  
***Sessions de perfectionnement technique***

---

**EAU - FORMATION - DEVELOPPEMENT**

ABIDJAN - 2-15 FEVRIER 1986

---

THEME GENERAL III

Entretien des Equipements Electromécaniques

6 février 1986

Conférence présentée par Monsieur SERI, SODECI

\* \* \* \*

Maintenance des équipements hydrauliques en Afrique  
Expérience de la Côte d'Ivoire

La décennie de l'eau des années 1980 décidée par les Nations Unies est l'aboutissement d'une volonté manifeste des Gouvernements à approvisionner les populations en eau potable et leur assurer un assainissement adéquat.

Déjà dans ce contexte, et dans la recherche d'une solution globale au problème d'eau en Côte d'Ivoire, le Gouvernement décida de lancer un programme national d'équipement hydraulique tant en milieu urbain qu'en milieu rural.

Ce programme a permis d'atteindre à la fin de l'année 1984 les résultats suivants :

- 132 Chefs-lieux de Préfectures et Sous-Préfectures équipés de réseaux de distribution,
- 96 villages de plus de 4.000 habitants équipés de réseaux de distribution,
- 8.000 villages de moins de 4.000 habitants équipés de pompes à motricité humaine (hydraulique villageoise).

Cela représente pour les zones équipées de réseaux d'eau (appelées centres urbains) près de 500 points de pompages et pour l'hydraulique villageoise près de 11.000 organes de pompages.

Produire et distribuer de l'eau de bonne qualité en permanence étant la mission fondamentale d'une société de distribution d'eau, il apparait une impérieuse nécessité de veiller à la "vie" du matériel installé.

La maintenance qui est un ensemble des actions et des moyens visant à assurer en permanence un état du matériel compatible avec les programmes d'utilisation à court, moyen et long terme, doit être une constante de la politique de gestion de nos sociétés. Cela est d'autant plus indispensable que les centres de conception, de fabrication du matériel mis à notre disposition sont mille lieux d'utilisation de ce matériel.

La SODECI, depuis 1980, organise de manière systématique ses services techniques pour la maintenance des installations hydrauliques.

Notre document résume l'expérience de notre société selon le schéma suivant :

- . Cadre institutionnel de l'intervention de la SODECI
- . Structure mise en place pour assurer la maintenance des installations
- . Maintenance en hydraulique urbaine
- . Maintenance en hydraulique villageoise
- . Recommandations

#### 1°) CADRE INSTITUTIONNEL

Le lancement du programme national de l'hydraulique par le Gouvernement a été accompagné par la création des organismes pour animer ce programme.

. La Direction de l'Eau, structure du Ministère des Travaux Publics, de la Construction et des Postes et Télécommunications.

C'est le maître d'ouvrage, organe de planification d'exécution et de contrôle.

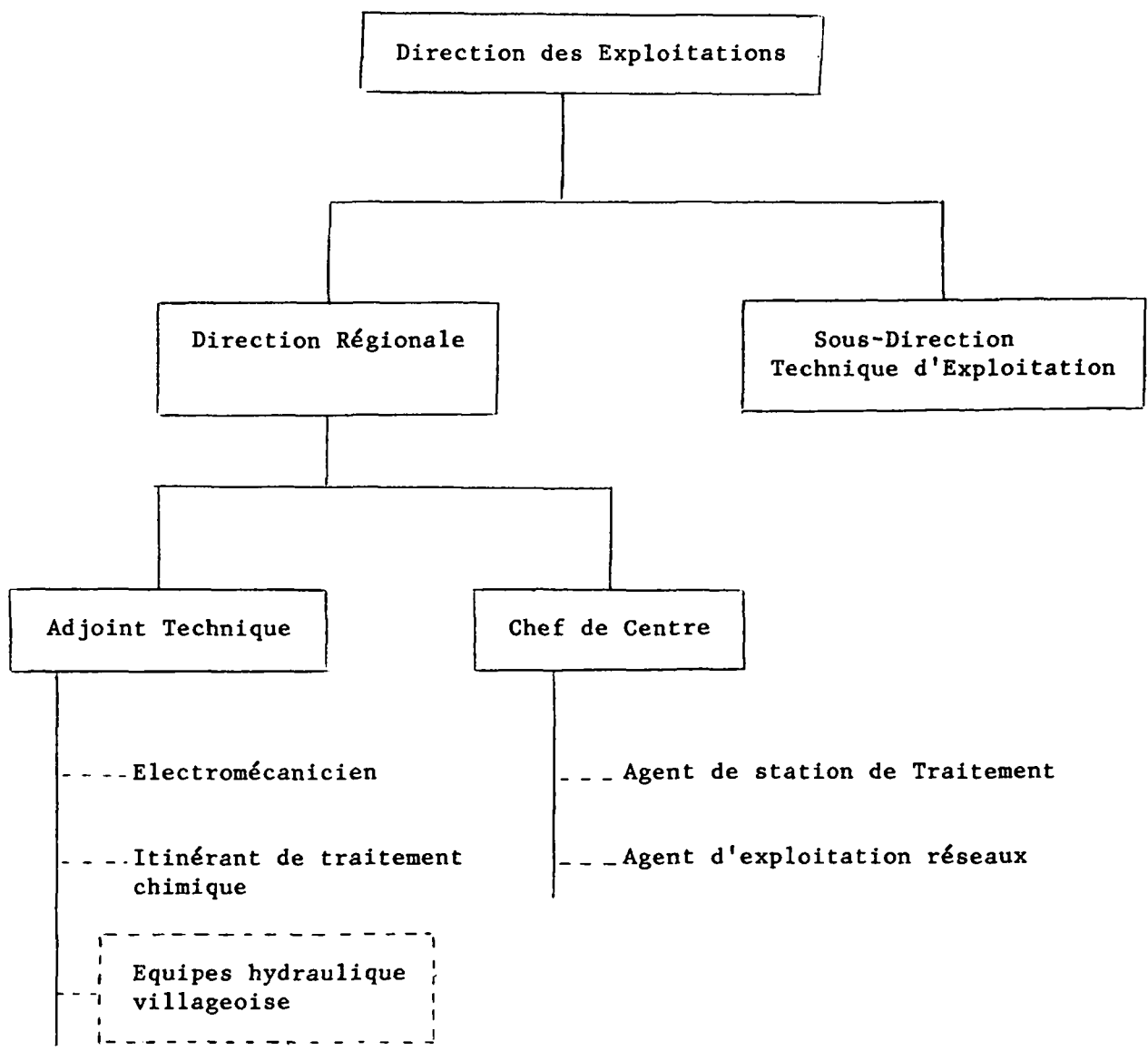
. La Société de Distribution d'Eau en Côte d'Ivoire (SODECI) qui est une société privée à qui l'Etat, par un contrat d'affermage a confié l'exploitation des installations hydrauliques sur l'ensemble du territoire.

Les responsabilités se trouvent ainsi définies : la Direction de l'Eau pour le compte de l'Etat réalise des installations qu'elle confie à la SODECI après une réception des travaux, pour leur maintenance. La Direction de l'Eau par ses services techniques, contrôle l'activité de la SODECI pour vérifier l'Etat du matériel, veiller à l'application des clauses du cahier d'affermage.

#### 2°) STRUCTURE SODECI POUR LA MAINTENANCE

L'organisation de la maintenance dans une entreprise est étroitement liée à la structure de la société. A chaque structure centralisée ou décentralisée correspond un système de maintenance.

La SODECI, chargée de l'exploitation des installations sur tout le territoire national, a opté pour la gestion décentralisée avec responsabilisation du personnel opérationnel à tous les niveaux. L'organigramme ci-dessous de la Direction des Exploitations indique la configuration de la fonction technique.



Cette disposition structurelle qui nous permet d'être plus près du terrain avec les équipes en Directions Régionales est un élément fondamental dans la mise en place du système de maintenance préventive.

Ainsi, nous comptons 21 équipes d'Electromécaniciens (21 personnes) basées en Directions Régionales et 4 équipes lourdes basées à ABIDJAN à la S/DTE pour les interventions exigeant du matériel lourd. Pour l'exploitation d'ABIDJAN, dans chaque usine il y a un Electromécanicien.



### 3°) MAINTENANCE EN HYDRAULIQUE URBAINE

Le matériel dont il faut assurer le fonctionnement régulier est composé de :

- groupes électro-pompes
- armoires électriques
- régulateurs de niveaux
- saturateurs à chaux
- pompes doseuses
- agitateurs
- vannes - ventouses - anti-béliers
- etc...

A ce matériel électromécanique et des accessoires de la robinetterie, il faut ajouter les ouvrages de traitement, locaux d'exploitation etc...

#### 3.1) Maintenance curative

Jusqu'à 1980, la forme curative de la maintenance a été prédominante. Elle a consisté à intervenir au moment où la panne se déclare. Cette forme véhicule plus d'inconvénients que d'avantages. Parmi les inconvénients on peut citer :

- . La négligence notoire dans la recherche de mieux connaître le matériel (fiches techniques non suivies).
- . Perte de production par des arrêts prolongés de pompage avec pour conséquences :
  - l'affectation de l'image de marque de la société (une ville restant sans eau)
  - perte de recettes
  - coût élevé de l'intervention comprenant le déplacement de l'équipe souvent basée au niveau central de la DR - le coût du matériel à remplacer.
- . Une mauvaise organisation de stock de pièces de rechange, par conséquent mauvaise politique de renouvellement.

#### 3.2) Maintenance préventive

Depuis 1980, en collaboration avec INSET d'ABIDJAN, nous mettons progressivement en place la maintenance préventive. Celle-ci vise :

- . A maintenir les équipements dans un état de fonctionnement optimal et permanent.
- . A prolonger au maximum la durée de vie de ces équipements.

Cette maintenance prend naissance à partir de deux éléments principaux :

- 1°) Les fiches techniques qui résument les recommandations du constructeur pour chaque matériel, la nature et la périodicité des opérations d'entretien à effectuer.
- 2°) Les programmes d'entretien qui renvoient pour chaque matériel et aux dates voulues, aux fiches techniques qui indiquent les opérations à effectuer.

Il est évident que ces documents de base peuvent être enrichis avec des enseignements tirés de l'utilisation du matériel dans des conditions climatiques et socio-culturelles locales.

### 3.2.1) Méthodologie suivie dans la mise en place de l'entretien préventif à la SODECI

. Phase n° 1 : Sensibilisation et formation du personnel de maintenance.

. Phase n° 2 : Inventaire du matériel par station.

Une classification a ensuite permis de distinguer les appareils vitaux (dont la panne provoque l'arrêt de la production) importants (dont l'arrêt peut provoquer une perturbation dans la production ou nuire à la sécurité du personnel qui l'utilise) et secondaires (dont l'arrêt est sans effet sur la production).

Les dossiers ont été constitués. Ils regroupent en un seul endroit toutes les informations se rapportant à chaque appareil pour faciliter le travail de préparation des travaux d'entretien. Ils se composent essentiellement de quatre sous-dossiers :

- sous-dossier 1 : regroupe les schémas électriques (puissance et commande),
- sous-dossier 2 : schémas mécaniques d'appareils,
- sous-dossier 3 : les préparations,
- sous-dossier 4 : le suivi (modification de fonctionnement et caractéristiques, etc...).

Ces dossiers ont permis de faire l'analyse de chaque appareil en créant des fiches d'études (choix du mode d'entretien et des actions à entreprendre et étude synthétique de l'entretien préventif). Des fiches de vie, des fiches techniques (description des caractéristiques techniques), le tout aboutissant à l'élaboration d'un planning annuel d'intervention en entretien préventif sur inspection et entretien périodique.

2°) Au niveau de l'électromécanique

- standardisation des pompes doseuses après la suppression des doseurs gravitaires,
- standardisation des électro-pompes immergées surtout à ABIDJAN.

Cette concertation permanente, avec à l'appui des analyses des dossiers techniques par l'exploitant dans le cadre des projets, permet à celui-ci de donner son avis et formuler des suggestions relatives aux différents matériels proposés.

3.4) Les aspects financiers et humains de la maintenance

La maintenance et surtout sa forme préventive constitue un poste important dans le compte d'exploitation d'une société. Mais elle constitue également une source des économies futures dans la mesure où elle évite les pannes des équipements et assure la régularité de l'activité production.

C'est pourquoi, il est nécessaire de mettre en place des supports de gestion pour suivre son influence sur l'activité. Quelques ratios :

- $\frac{\text{Frais d'entretien}}{\text{Nombre d'unités produites}}$  = mesure de son importance
- $\frac{\text{Somme des heures de pannes}}{\text{Somme des heures d'utilisation}}$  = mesure de son efficacité

Le problème qui est souvent à résoudre par les sociétés de distribution d'eau en Afrique, est celui de la permanence des ressources financières pour assurer le fonctionnement des installations réalisées grâce au financement extérieur. Seule une tarification adéquate, prenant en compte toutes les charges de l'exploitation avec un souci de vérité prix, pourra résoudre ce problème.

Cette démarche a l'avantage de dégager un budget pour le renouvellement du matériel dans une politique globale de la maintenance. C'est dans l'exécution de ce budget, tous les ans, que nous arrivons à la SODECI à suivre la qualité de la maintenance dans tous ses aspects :

- organisation des stocks
- politique de renouvellement du matériel
- suivi de la fiabilité du matériel
- organisation des ateliers de dépannages
- intervention des services extérieurs (rebobineurs).

### Application de l'entretien préventif

L'application de la maintenance préventive dans les Directions Régionales de la SODECI se fait en deux phases :

- une phase expérimentale
- une phase de vulgarisation.

Le projet a démarré sur deux stations importantes, celle de GRAND-BASSAM et de YAMOISSOUKRO. L'expérience sur ces deux villes a permis d'améliorer les méthodes et le suivi.

C'était la phase expérimentale.

Il a été ensuite étendu à l'ensemble du personnel technique des Directions Régionales en accentuant la formation dans quatre Directions Régionales durant l'année 1984-1985.

Nous comptons couvrir ainsi l'ensemble du territoire d'ici fin 1986.

Des manuels de travail, hiérarchisant les interventions depuis l'agent de l'usine jusqu'à l'Adjoint Technique de DR en passant par le Chef de Centre et l'Electromécanicien ont été confectionnés.

### 3.3) Concertation exploitant - concepteur

Dans notre cas de Côte d'Ivoire, les dossiers techniques de projets sont directement suivis par la Direction de l'Eau, le maître d'ouvrage.

Dans le cadre de concertation périodique entre cette structure et la SODECI, nous proposons, forts de l'expérience terrain, l'amélioration du matériel à l'origine, la modification de certaines installations dans leur conception avec un souci permanent de standardisation et de facilité d'exploitation. Quelques exemples peuvent être cités :

#### 1°) Au niveau de la station de traitement

. Remplacement de planchers de filtres en béton poreux par les planchers à buselure.

. Option pour un système de mélange rapide dans la phase de coagulation/floculation.

. Option pour un système de production d'eau de chaux (cas de petites et moyennes stations) composé de :

- un bac de lait de chaux avec une pompe de transfert,
- un saturateur tronconique (métallique) avec un gyromètre pour la fixation du débit d'eau à saturer.

C'est l'analyse combinée de tous ces éléments qui peut amener le gestionnaire dans le sens de minimiser les coûts de maintenance, à privilégier la politique qui consiste à tout faire à l'intérieur au détriment des services extérieurs. Il est évident qu'il faut toujours avoir une approche d'étude économique. La SODECI tend à faire le maximum de ses réparations par elle-même. Il existe au sein de la société :

- un atelier pompes
- un atelier de câblage électrique
- un banc d'essai
- un atelier mécanique (véhicules)
- un atelier de chaudronnerie.

Seul le rebobinage des moteurs se fait actuellement à l'extérieur. Mais les dispositions se prennent pour créer cette activité à l'intérieur de la société.

La politique de maintenance, comme toute politique d'ailleurs, de production, ne réussit qu'avec les hommes qu'il faut, c'est-à-dire des hommes compétents, avec une formation de base conséquente, recrutés avec une grande rigueur.

Toute cette politique doit être soutenue par une politique de formation continue. L'existence du Centre des Métiers de l'Eau à ABIDJAN permet à la SODECI de former ses agents aux pratiques de l'Eau (traitement, organisation, maintenance).

Conférence présentée par Monsieur ATIVON, CIEH

\* \* \* \*

Le choix des énergies traditionnelles renouvelables en Afrique  
Faisabilité technique et économique  
La production et l'utilisation du Biogaz  
L'expérience du CIEH

INTRODUCTION

Je n'ai pas la prétention de vous entretenir sur tout ce qui se cache dans cette expression (temps et compétence ?), mais plutôt d'un aspect précis : la production et l'utilisation du Biogaz.

Depuis 1977 une étude intitulée :  
"Valorisation des déchets végétaux par production  
du compost enrichi et de biogaz" a été menée par le CIEH

I - QUELQUES RAPPELS SUR LE PRINCIPE ET LES TECHNOLOGIES DE PRODUCTION DU BIOGAZ

Je n'insisterai pas sur le principe qui est celui de la fermentation anaérobie de la matière organique donnant du CH<sub>4</sub> essentiellement.

Les 2 catégories de technologie de production sont : la technologie continue (Chine et Inde) et la technologie discontinue (CIEH).

L'alimentation et vidange quotidiennes d'un digesteur en matières organiques fortement diluées avec l'eau (pour la technologie continue) sont inadaptées en Afrique Soudano Sahélienne.

Le CIEH a entrepris, depuis 1977, la conception et la mise au point de petites unités adaptées (fermentation de substrats végétaux avec un minimum d'eau et d'excréments animaux) en système discontinu.

II - L'EXPERIENCE DU CIEH

Les travaux ont été réalisés en 3 phases :

- la maîtrise de la production,
- l'adaptation et l'utilisation dans les conditions soudanes
- un essai de vulgarisation (prévulgarisation).

## II.1. La maîtrise de la production

### . Description d'une unité de production :

- 2 à 4 digesteurs de 4,5 m<sup>3</sup> (en béton)
- un gazomètre (cloche en tôle de 3 mm ou en matière plastique)
- une cuve de stockage d'eau (approvisionnement en eau des digesteurs)
- des tubes de distribution
- un piège à eau
- une plate-forme fumière (couverte de préférence)

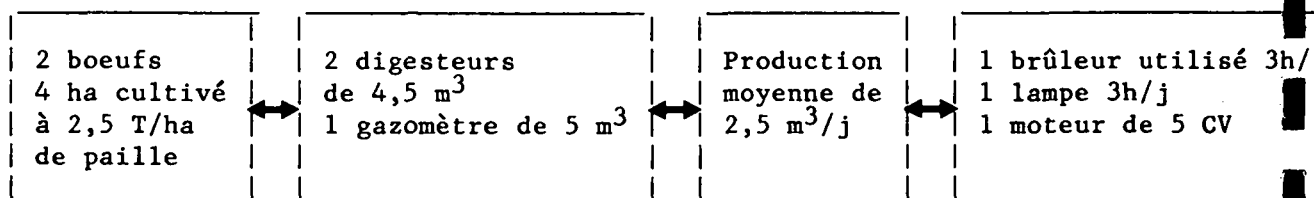
### . Caractéristiques de production

De la paille broyée + 1/4 à 3/4 de déjections animales imprégnées sous des conditions de température de 30 à 35° laisse échapper du biogaz en quantité appréciable pendant environ 60 jours - voir tableau-

|                                 | Prod. m <sup>3</sup> /j | Prod.max/j          | Prod.min/j          | Prod.totale par cycle |
|---------------------------------|-------------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|
| 2 digesteurs 4,5 m <sup>3</sup> | 2,7 m <sup>3</sup>      | 3,15 m <sup>3</sup> | 2,25 m <sup>3</sup> | 162 m <sup>3</sup>    |
| 4 digesteurs 4,5 m <sup>3</sup> | 5,4 m <sup>3</sup>      | 5,85 m <sup>3</sup> | 4,95 m <sup>3</sup> | 324 m <sup>3</sup>    |

### . Dimensionnement

Il se fait en fonction des besoins mais aussi des disponibilités en résidus végétaux et animaux (gisement organique).



### . Maintenance, exploitation

- Production d'un fumier pailleux : 20 à 25 kg/animal de paille + déjections + aliments non consommés
- Préfermentation (pendant 5 à 6 jours) : mise en tas et arrosage uniforme sans excès : fermentation anaérobie avec élévation de température jusqu'à 60°C

- Remplissage et vidange du digesteur
  - . le Substrat est contenu dans les jus précédents "mère bactérienne"
  - . tassage
  - . fixation des grilles
  - . remplissage en eau jusqu'au niveau des grilles
  - . placement du couvercle
  - . remplissage des joints hydrauliques
- Compostage
  - . résidus solides entassés dans fosses de compostage
  - . arrosage périodique

## II.2. Utilisation du biogaz

- a) Utilisations domestiques
  - cuisine
  - éclairage
  - réfrigération
- b) Utilisation pour la petite irrigation
  - pompage
  - résidus végétaux

Les normes d'utilisation connues sont les suivantes :

|               |                                      |
|---------------|--------------------------------------|
| Cuisine       | 1 bruleur : 300 à 700 l/h            |
| Eclairage     | 1 manchon : 300 l/h                  |
| Réfrigération | 0,5 m <sup>3</sup> /j/hl de capacité |
| Moteur        | 0,5 m <sup>3</sup> /h/cV             |

A l'utilisation, 1 m<sup>3</sup> de biogaz  $\simeq$  0,7 l d'essence soit 6 kg de bois de chauffe.

## II.3. Les opérations de pré vulgarisation

Objectifs : tout en continuant à parfaire la technologie, ils consistent à apprécier les résultats (succès et échecs dans conditions réelles).

Choix des sites : les agglomérations réunissant les conditions requises sont au Burkina Faso.

Bilan et conclusions : le bilan est techniquement positif (moteur et cuisine). L'éclairage et l'essai d'utilisation de plastique comme gazomètre n'ont pas donné de bons résultats.



Par ailleurs, la pré vulgarisation a mis en évidence certaines précautions à prendre pour une utilisation optimale :

- nécessité de bien évaluer les ressources (paille, eau)
- nécessité de bien évaluer les besoins
- s'assurer de la motivation des bénéficiaires
- ne pas ignorer le facteur temps et travail nécessaire.

Mais la principale contrainte demeure le coût élevé de l'unité de production. Aucune solution n'a malheureusement été trouvée pour réduire ce coût, environ 700.000 F CFA pour une unité de 2 digesteurs de 4,5 m<sup>3</sup>, un gazomètre de 5 m<sup>3</sup> et un bac d'eau.

Ramené à 100.000 F CFA il peut devenir compétitif comme énergie domestique.

En conclusion

- La technologie biogaz-compost type CIEH est, d'un point de vue technique vulgarisable en zone soudano-sahélienne ;
- les problèmes ou contraintes socio-économiques sont importantes surtout le coût rapporté au niveau individuel ;
- sous certaines conditions, il est possible de rentabiliser une installation biogaz-compost "petite motorisation" (irrigation, moulin...).

Conférence présentée par Monsieur S. BERTHIER, FONDATION DE L'EAU

\* \* \* \*

Ressources en énergies renouvelables

1 - GISEMENT EOLIEN

Le vent est utilisé depuis des millénaires par l'homme : moulin à vent, bateaux à voile... Cependant, cette ressource n'est pas uniformément répartie à la surface du globe.

La puissance du vent est calculée à partir de sa vitesse, et varie en fonction de son cube. L'énergie récupérable peut donc varier en fonction de la vitesse moyenne, mais aussi suivant la répartition des fréquences du vent par heure, mois, etc... La connaissance du régime local des vents (rose des vents) est donc très souhaitable pour le montage d'un projet.

La puissance maximale disponible à travers une surface S dans le vent de vitesse V (formule de Betz) est :

$$P \text{ max} = 0,37.10^{-3} \times S.V^3$$

La valeur calculée est appelée "limite de Betz" (vitesse de l'air non nulle à la sortie du capteur → pertes) et sert à calculer le rendement d'une éolienne.

Exemple de courbe de puissance en fonction de la vitesse du vent



----- Survitesse - Surpuissance

Le vent de démarrage correspond à la vitesse du vent le plus faible pour que l'éolienne démarre (couple moteur > couple frottement).

Le vent nominal correspond à la vitesse du vent pour laquelle l'éolienne fournit sa puissance nominale.

Au delà de ce vent nominal, on est en survitesse, donc surpuissance, et il convient d'équiper l'éolienne de dispositifs destinés à limiter la puissance, sous risque de détérioration.

De même que le solaire, le gisement éolien est aléatoire :

- pas de garantie sur le fonctionnement permanent d'un dispositif éolien (mais nombre d'heures d'utilisation souvent supérieur aux dispositifs solaires),
- nécessité d'avoir des renseignements précis sur le régime des vents, pendant une durée importante,
- nécessité de prévoir un stockage d'énergie (périodes sans vent plus longues que périodes sans soleil).

## 2 - GISEMENT HYDRAULIQUE

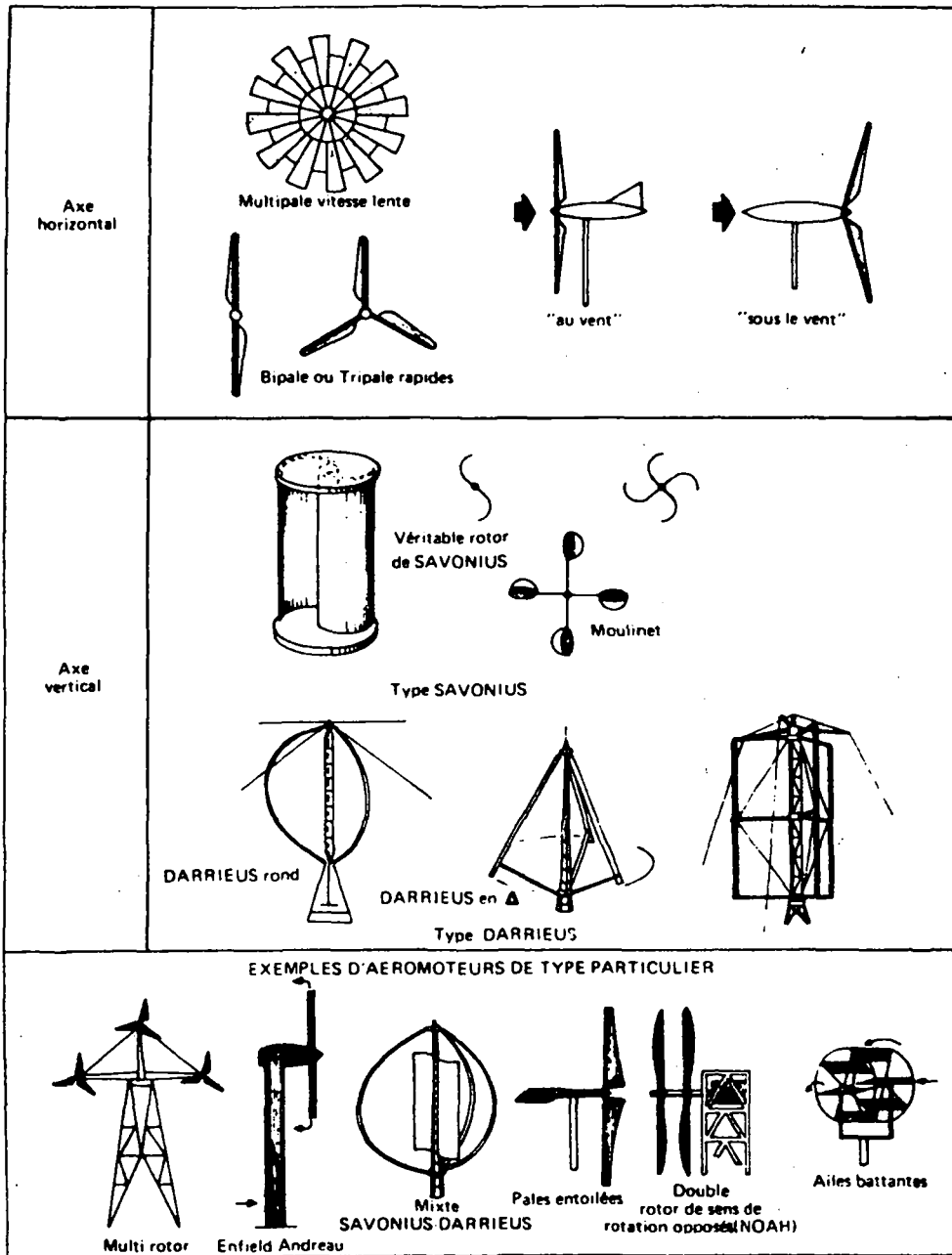
Cette source d'énergie est très irrégulièrement répartie dans le monde. Son exploitation est conditionnée par la régularité du débit des cours d'eau utilisés et par la puissance d'une chute suffisante (> 1m).

Après analyse des contraintes d'installation, on s'aperçoit qu'il existe une quantité de sites intéressants, très valables du point de vue économique.

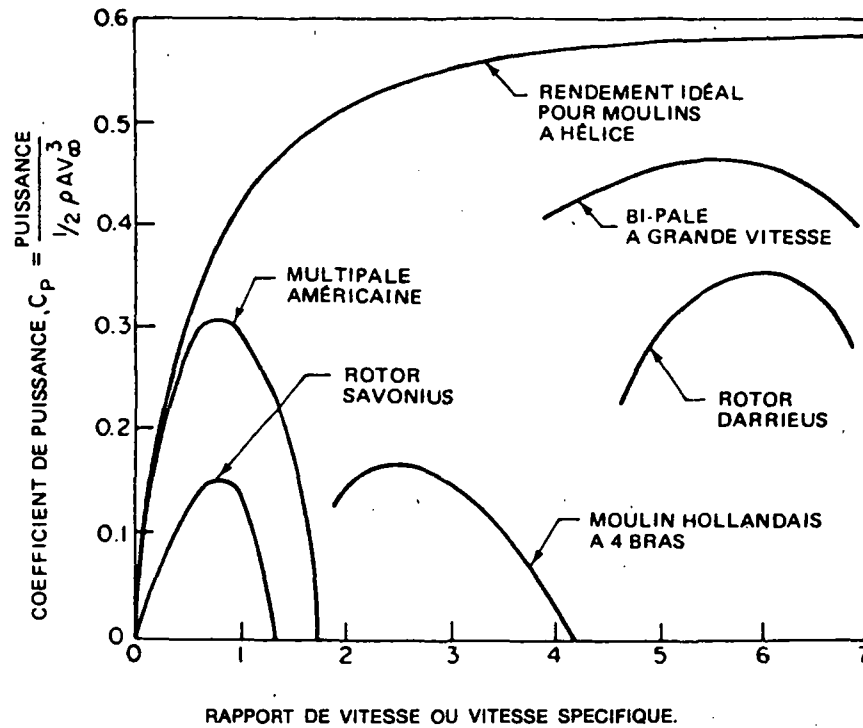
## 3 - CONVERSION DE L'ENERGIE EOLIENNE

Elle a été une des premières sources d'énergie domestiquée par l'homme (moulins à vent, bateaux à voile...).

Les capteurs sont de différents types :



Ces différents capteurs ont des rendements propres différents, et toujours inférieurs à la "limite de Betz".



Ces différentes éoliennes sont associées, en fonction de leur vitesse soit directement à des mécanismes de pompage (vitesse lente : multipale, Savonius), soit à des générateurs électriques (vitesse rapide : bi-pale, tri-pale, rotor Darrieus...).

Les aérogénérateurs, utilisant des matériaux de pointe, fournissent des puissances de plus en plus importantes avec une bonne fiabilité.

#### 4 - CONVERSION DE L'ENERGIE HYDRAULIQUE

La conversion de cette énergie en énergie mécanique ou électrique est au point depuis très longtemps et l'on sait maintenant fabriquer des systèmes à très petite échelle : microcentrales hydrauliques.

La puissance théorique d'une chute est égale à :

$$PT = \frac{Q \times h}{102}$$

Q = débit en l/s

h : hauteur de chute en m

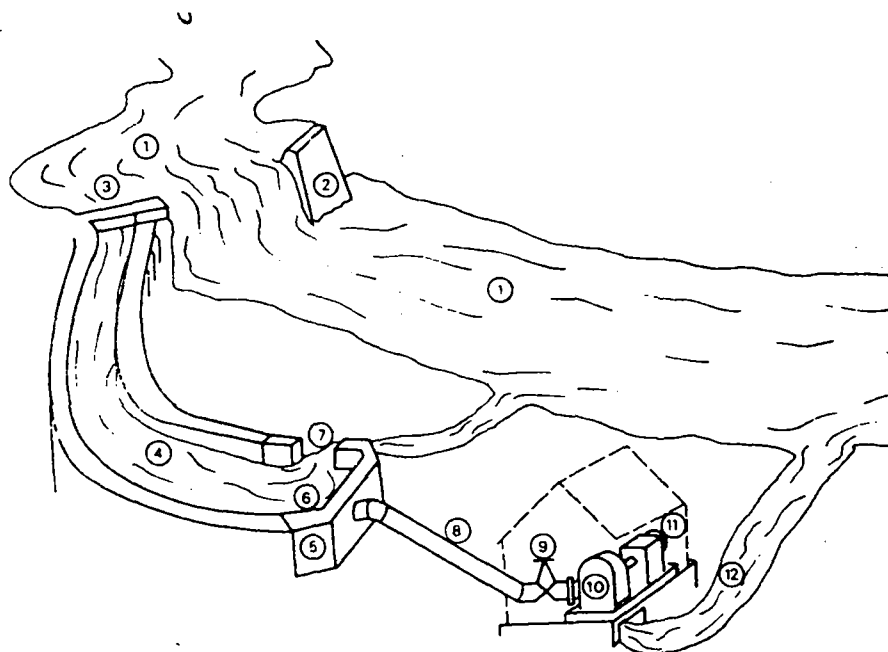
P : en KW

Compte tenu du rendement des différents éléments, la puissance utile d'une chute est égale à  $P_u \approx 0,7 PT$ .

On distingue différents types de turbine, en fonction des hauteurs de chute :

|  | TURBINE<br>A HÉLICE KAPLAN<br>OU NAGLER<br>(et groupe Bulbe) | TURBINE<br>FRANCIS  | TURBINE<br>PELTON |
|--|--|---------------------|-------------------|
| Hauteurs de chutes recommandées ....                 | 2 à 25 m   | 5 à 150 m           | > 150 m           |
| Puissance minimum des turbines commercialisées ..... | Depuis 1 kW en unité « compacte »                            | Depuis 5 kW environ | > 100 kW          |

Une installation type d'une petite centrale hydraulique au fil de l'eau se présente sous la forme :



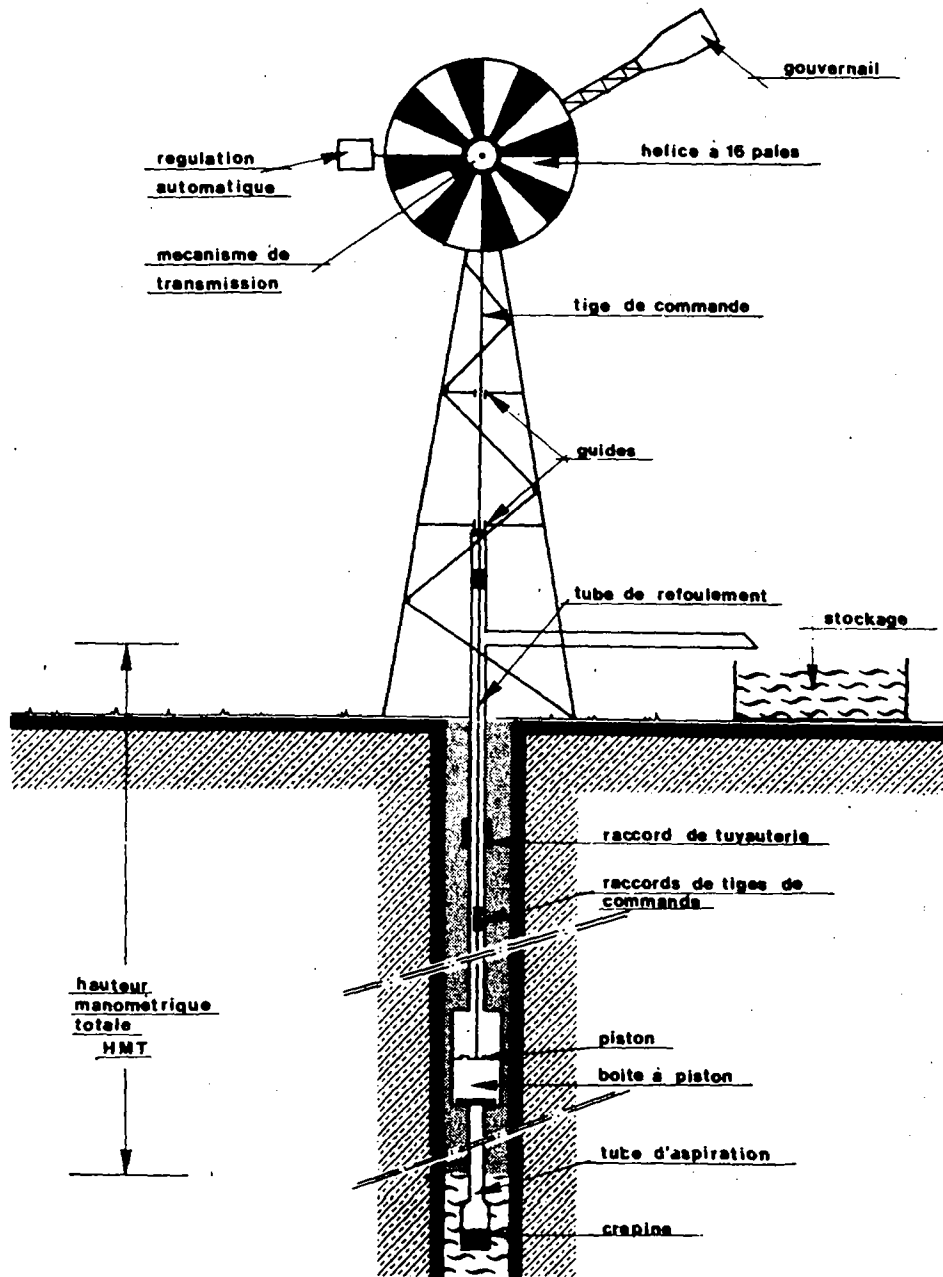
- |  |                            |
|--|----------------------------|
| 1. Rivière   | 7. Débordement             |
| 2. Barrage avec déversoir                            | 8. Conduit à la turbine    |
| 3. Contrôle, canal d'aménée                          | 9. Vanne                   |
| 4. Canal d'aménée                                    | 10. Turbine                |
| 5. Structure pour l'entrée, conduit à la turbine     | 11. Génératrice électrique |
| 6. La trappe-déchets, ou grille d'arrêt, ou râtelier | 12. Canal d'évacuation     |

Dans certaines conditions, les microcentrales peuvent être extrêmement intéressantes pour l'électrification rurale. Elles ont un bon rendement, une excellente fiabilité, en nécessitant un entretien réduit.

5 - EOLIENNE DE POMPAGE

La solution classique est l'éolienne multipale lente. Elle est constituée par une roue de 2 à 3 m de diamètre sur laquelle sont accrochés un grand nombre de pales obliques. Un système bielle manivelle convertit la rotation (30 à 80 tour (mm) en un mouvement rectiligne alternatif : entraînement d'une pompe à piston.

SCHEMA DE PRINCIPE D'UNE EOLIENNE



Une deuxième solution consiste à utiliser une pompe électrique classique couplée à un aérogénérateur (systèmes Aérowalt), ce système est très souple, fiable, peut utiliser des vents forts mais utilise une technique assez sophistiquée.

Enfin, il existe sur le marché des éoliennes de construction artisanales (type Serhores), de moindre capacité, elles offrent l'avantage de ne pas nécessiter un niveau technique élevé, pour l'installation et la maintenance.



\* \* \* \*

## Solaire et hydraulique villageoise

### 1 - GISEMENT SOLAIRE

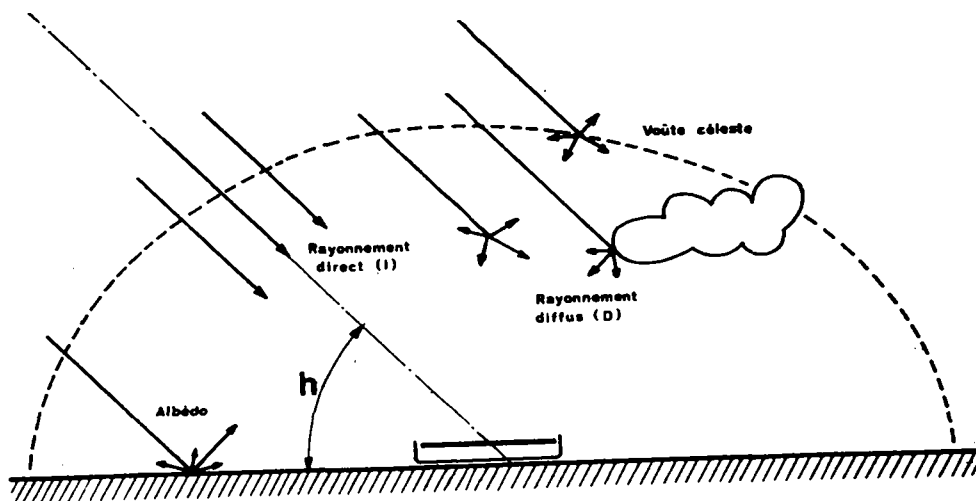
Le rayonnement solaire est un rayonnement électromagnétique de longueur d'onde comprise entre 0,22 et 10 microns, l'énergie associée à ce rayonnement se décompose en :

- 52 % dans les infrarouges ( $\lambda > 0,76 \mu$ )
- 40 % dans le visible ( $0,4 \mu < \lambda < 0,7 \mu$ )
- 8 % dans les ultraviolets ( $\lambda < 0,4 \mu$ )

L'intensité du rayonnement solaire au sol est extrêmement variable suivant la localisation géographique, l'heure, la saison, les conditions météorologiques, l'altitude...

Pratiquement, la puissance disponible au sol dépasse rarement 1000 W/m<sup>2</sup> dans les meilleures conditions de réception (affaiblissement du rayonnement à travers l'atmosphère, diffusion...).

### LES RAYONNEMENTS DANS L'ATMOSPHERE



Les principales caractéristiques du rayonnement solaire sont :

- l'insolation : durée pendant laquelle le soleil a brillé,
- le rayonnement global : éclaircissement énergétique d'une surface horizontale (rayonnement direct plus diffus),
- le rayonnement direct,
- le rayonnement diffus.

La distinction des différents rayonnements a son importance car elle conditionne, en partie, le choix des capteurs solaires.

Pour illustrer la variation du rayonnement solaire en fonction de l'heure et des conditions météorologiques :

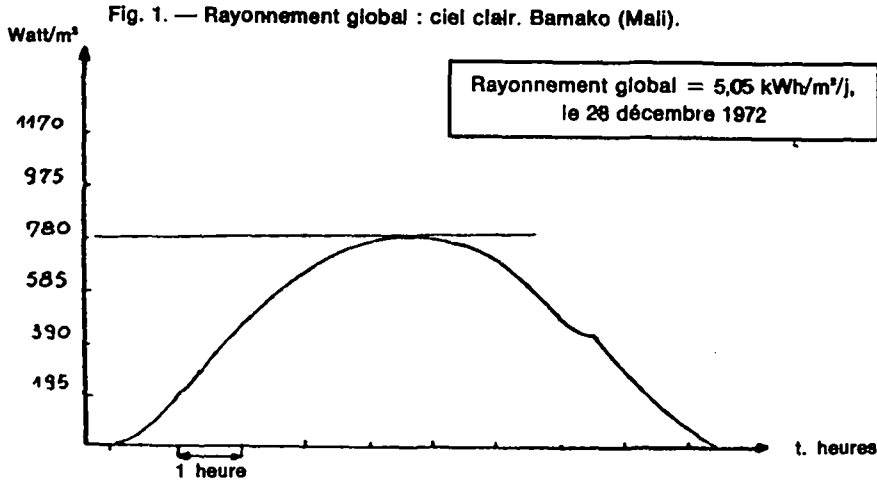


Fig. 2. — Rayonnement global : nuages. Bamako (Mali) [type Cu/Cb].

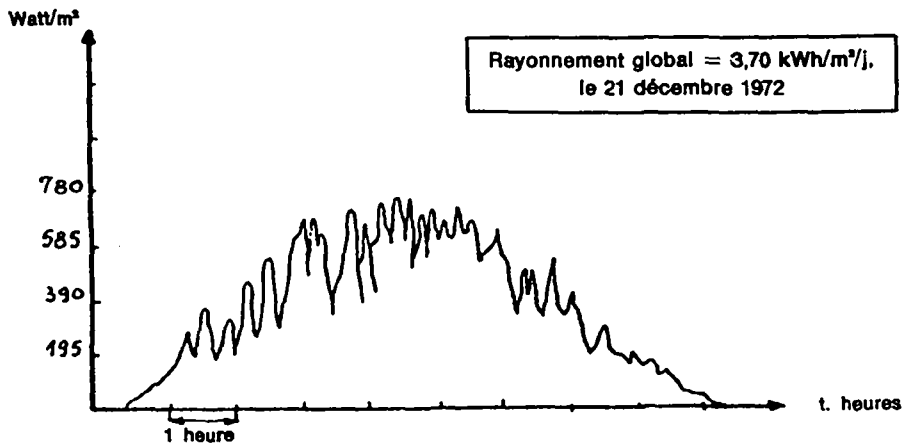
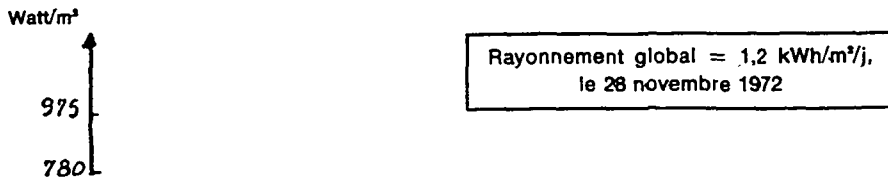


Fig. 3. — Rayonnement global : ciel bas Bamako (Mali) [nuages type As/St].



Légende :

- Cu : cumulus
  - Cb : Cumulo-nimbus
  - As : Altostratus
  - St : Stratus
- } isolés
- } en nappe

Ce rayonnement solaire est donc relativement aléatoire. Cela a pour conséquences :

- pas de garantie sur le fonctionnement journalier d'un appareil solaire,
- performances très variables en fonction de la qualité de l'atmosphère, du jour et plus généralement de la saison (nécessité d'une longue étude préalable en cas de grosse installation),
- nécessité de surdimensionner les équipements pour assurer des performances suffisantes (cas de l'hivernage),
- fort coût d'amortissement en raison du faible nombre d'heures de travail journalier.

Néanmoins, le stockage facile dans certains cas (pompage de l'eau) diminue beaucoup les inconvénients inhérents à cette énergie.

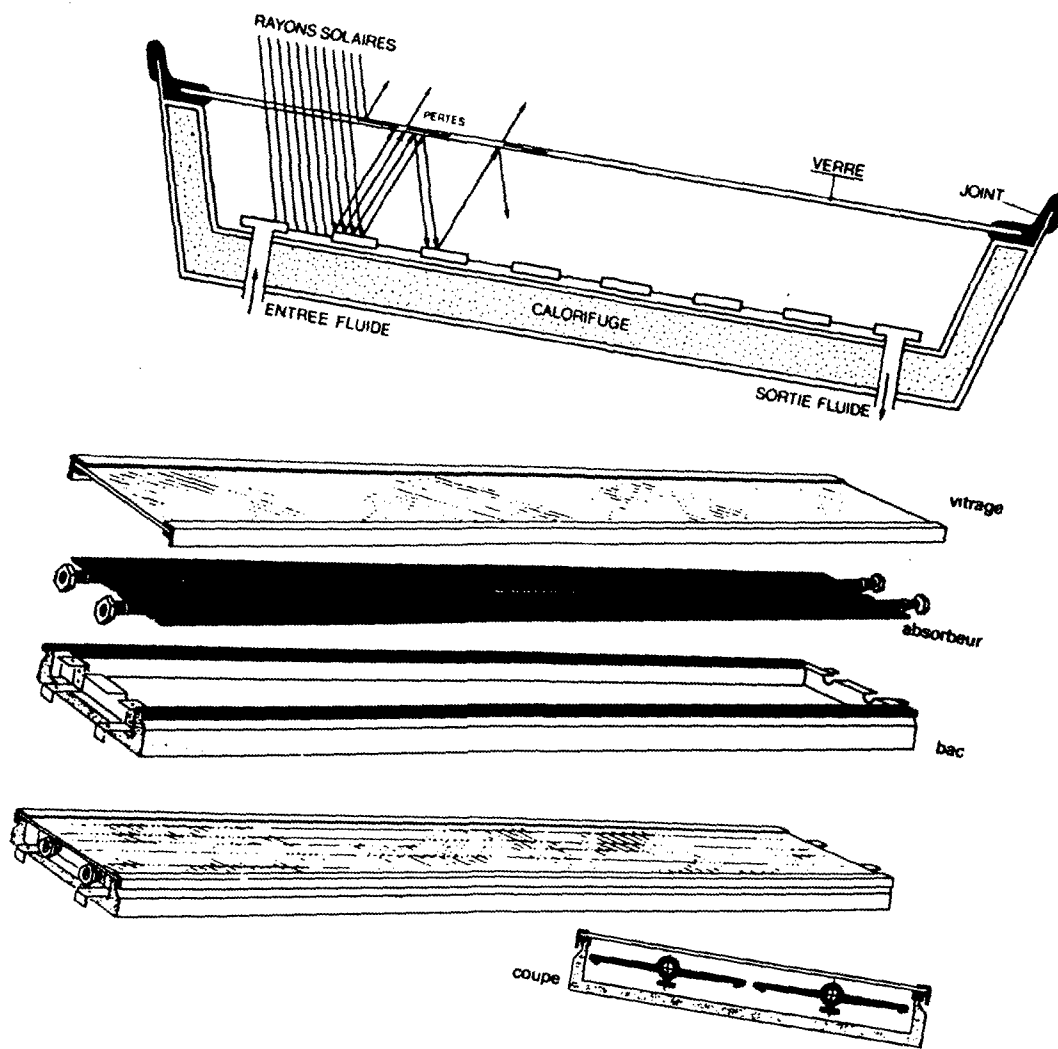
## 2 - CONVERSION DE L'ENERGIE SOLAIRE

### 2.1 - Capteurs thermiques plans et à concentration

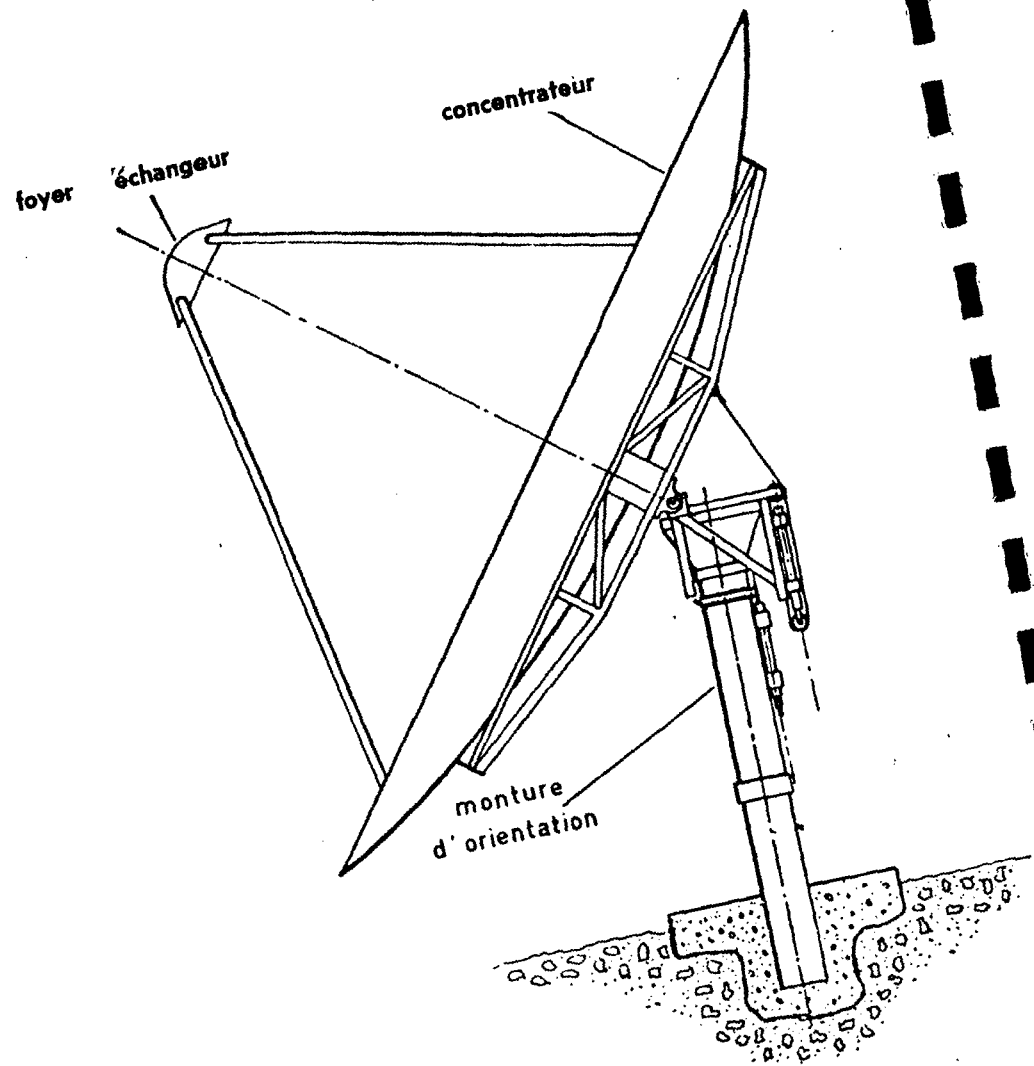
Ces capteurs pratiquent la conversion thermique de l'énergie des photons. On distingue :

- les capteurs plans, qui utilisent le rayonnement direct et diffus et peuvent donc fonctionner par ciel couvert,
- les capteurs à concentration (basés sur le phénomène de la réflexion), qui n'utilisent que le rayonnement direct, ce qui suppose un ciel clair.

Exemple de capteurs plans :



Exemple de capteur parabololoïde :



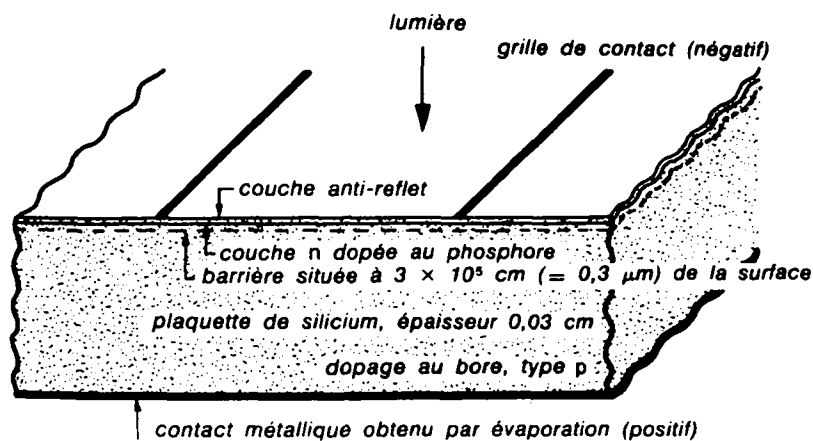
Les capteurs solaires sont associés à des boucles thermodynamiques qui convertissent la chaleur produite en énergie mécanique ou électrique : pompage solaire Sofretes (nous y reviendrons), centrale solaire Théonis... D'une manière générale, outre la satisfaction de besoins domestiques (chauffage, réfrigération... ces types de capteurs sont utilisés dans le cadre de centrales de production d'électricité (à partir d'une centaine de KW).

## 2.2 - Capteurs photovoltaïques

Les générateurs photovoltaïques convertissent directement le rayonnement solaire en électricité.

Principe de fonctionnement :

On utilise les propriétés de métaux semi-conducteur (type silicium) : création d'un champ électrique à l'interface d'une jonction P.N., sous l'effet d'un photon lumineux.



Coupe schématique d'une cellule solaire conventionnelle au silicium monocristallin.

Le rendement d'une telle cellule exposée au soleil est d'environ 10 à 15 %. La capacité d'une installation photovoltaïque est généralement définie par sa puissance crête (ensoleillement nominal de  $1 \text{ kW/m}^2$  et température de fonctionnement de  $25^\circ \text{C}$ ). Une puissance de 1 W crête fournit de 2 à 4 Wh/jour, selon les climats. Le module est le plus petit assemblage industriel de cellules photovoltaïques connectées en série, et protégé par une structure étanche (en général du verre sur la face avant ; du verre, une feuille de plastique ou de métal sur la face arrière). Les tailles unitaires courantes des modules vont de quelques watts à quelque dizaine de Watts, sous des tensions utilisées de 6, 12 ou 24 volts.

L'énergie produite par les cellules photovoltaïques est fonction de divers paramètres :

- rayonnement solaire : l'énergie produite par la cellule est proportionnelle au rayonnement,
- incidence : selon son inclinaison, le module fournira plus ou moins d'électricité en été ou en hiver,
- température ambiante : l'énergie produite est inversement proportionnelle à la température de fonctionnement,
- tension d'utilisation : elle est en général fixée par une batterie d'accumulateurs associée au système.

#### Coût et perspectives d'évolution :

En 1983, on peut estimer le prix du watt aux alentours de 65 F (variable suivant l'importance de la commande et du fournisseur). D'une manière générale, ce prix n'a pas cessé de baisser aux cours des dernières années, mais beaucoup moins vite qu'on ne l'espérait. De ce fait, l'estimation du watt crête à 20 F en 1985 est très optimiste.

On travaille activement à la diminution des coûts :

- diminution du coût du silicium,
- diminution du coût de la technologie des photopiles
- emploi de nouveaux matériaux, soit de meilleurs rendements que le silicium, soit moins onéreux (arséniure de gallium, silicium polycristallin, silicium amorphe, sulfure de cadmium).

### 3 - APPLICATIONS A L'HYDRAULIQUE VILLAGEOISE

Comme on vient de le voir, il existe une grande variété de systèmes destinés à produire de l'énergie électrique. A partir de cela, on retombe sur le schéma classique, réseau électrique et pompe électrique, avec toutes les diversités technologiques possibles. Ce cas de figure est applicable aux grosses communautés.

Il existe cependant un certain nombre de solutions bien particulières, pour des cas spécifiques.

#### 3.1 - Groupe électrogène

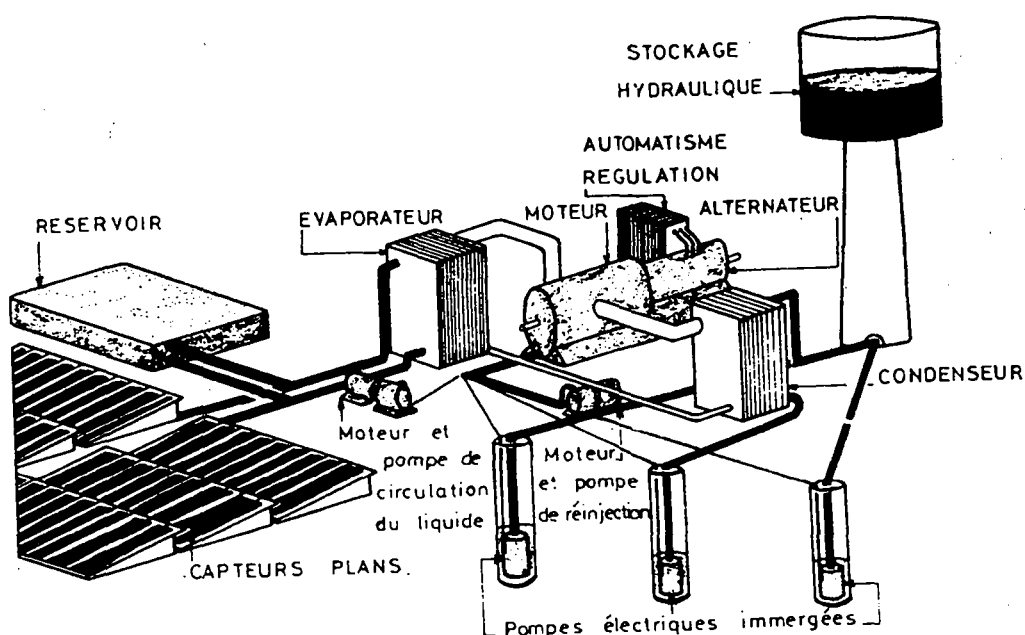
A l'heure actuelle, c'est encore le matériel le plus utilisé pour l'hydraulique villageoise. Il s'agit généralement d'un groupe diesel électrogène de quelque KVA alimentant une pompe électrique immergée. La fiabilité des pompes est excellente, mais celle du moteur n'est pas satisfaisante. De plus, se posent les problèmes de maintenance, de coût de fonctionnement et d'approvisionnement en gas-oil.

### 3.2 - Pompage solaire

#### 3.2.1 - Pompage solaire thermodynamique

Ce type de pompage avait été développé par la société SOFRETES. Il était adapté à d'assez grosses unités (70 KW à Diré). Le système est assez compliqué et n'a pas, semble-t-il une fiabilité excellente. A l'heure actuelle, le pompage a cédé la place au photovoltaïque.

Schéma d'une pompe solaire SOFRETES



#### 3.2.2 - Pompage solaire photovoltaïque

C'est la solution qui offre le plus de perspectives à l'heure actuelle. Un grand nombre de réalisations sont déjà opérationnelles, depuis presque une dizaine d'années. Un site privilégié est l'Afrique Occidentale, notamment en zone sahélienne.

Plusieurs technologies ont été utilisées :

- dans un premier temps, on a couplé des pompes de surface à moteur courant continu aux capteurs solaires : on a eu des déboires avec cette solution, à cause de désamorçage de la pompe (à moins qu'elle soit constamment en charge),
- ensuite, les cellules photovoltaïques ont été couplées à des pompes à ligne d'arbre entraînées en surface par un moteur courant continu : c'est la technologie Alta, développée par Guinard. Cette technologie est toujours employée, dans le cas de petites ou moyennes profondeurs ( $\approx 15-20$  maxi),



- enfin, il existe maintenant sur le marché des groupes de pompage immergés. Ces groupes peuvent être couplés directement aux capteurs, en utilisant un moteur courant continu (technologie Solar-Force), ou utilisent un moteur triphasé alternatif à tension et fréquence variable, alimenté par les cellules photovoltaïques via un convertisseur DC AC (technologie Photowatt et Grundfos).

La technologie des groupes immergés triphasés est parfaitement au point, et l'ensemble moteur pompe est très fiable ; le convertisseur DC-AC, malgré un bon rendement rajoute néanmoins un maillon supplémentaire, et de plus utilise une très haute technologie.

Cette technologie (Grundfos, Photowatt) a été testée par la Banque Mondiale et obtenue de bons commentaires.

Cependant, on peut émettre quelques réserves quant à la fiabilité des convertisseurs (niveau technique d'intervention, facilité d'obtention de pièces détachées).

La technologie des groupes immergés courant continu est assez récente. A condition que le moteur soit parfaitement étanche, elle est plus simple car sans intermédiaire. Il faudra cependant changer périodiquement le balais du moteur et cela peut poser un problème si c'est trop souvent renouvelé (technologie Solar Force).

A noter que l'on dispose maintenant sur le marché de moteurs C.C. sans balais, à commutation électronique (pompe S. International).



**COLLOQUE INTERNATIONAL**  
***Sessions de perfectionnement technique***

---

**EAU - FORMATION - DEVELOPPEMENT**

ABIDJAN - 2-15 FEVRIER 1986

---

THEME GENERAL IV

Réseaux Eau Potable

7 février 1986

\* \* \* \*

### Les racleurs souples TC

Au fil des ans, les conduites s'encrassent.

Suivant la nature de l'eau, plusieurs types de dépôts peuvent être constatés :

- FERRO-MANGANIQUES
- PUSTULES D'OXYDES
- CRUSTACES, MOULES, VERS
- SABLES

Les conséquences de l'encrassement des conduites et de la réduction des sections de passage sont multiples :

- USURES PREMATUREES DES POMPES
- HAUSSE CONSTANTE DES FACTURES D'ENERGIE
- SOURCES MAL EXPLOITEES
- PARALYSIE DU RESEAU
- DOLEANCE DES USAGERS

Plusieurs solutions sont possibles :

- CHANGER LES CONDUITES
- AUGMENTER LA CAPACITE DES POMPES OU INSTALLER UN SURPRESSEUR

La première est très onéreuse,  
la seconde n'attaque pas le mal à la racine.

Par contre, LE NETTOYAGE est une alternative plus rationnelle et plus économique.

Il existe plusieurs types de nettoyage :

- le nettoyage chimique : présente des risques de nuisances
- le nettoyage mécanique : technique lourde, fastidieuse et finalement onéreuse

.../...

D'autres méthodes plus sophistiquées ne peuvent être mises en oeuvre que par des entreprises spécialisées.

TROUVAY & CAUVIN propose une autre solution fondée sur l'utilisation d'une gamme de racleurs souples de différents calibres.

L'abrasion progressive des dépôts est obtenue de la façon suivante :

Le racleur fait partie intégrante du fluide véhiculé dont il est imprégné.

La pénétration de ce fluide dans la mousse accentue la faculté d'expansion radiale et la pression sur la paroi de la conduite.

D'une extrême souplesse, le racleur se conforme aux points singuliers de la canalisation :

- COUDES
- TES
- REDUCTIONS
- VANNES

Résistant à l'abrasion et au déchirement, le racleur TROUVAY & CAUVIN est constitué d'une mousse de polyuréthane spécialement formulée. Il est revêtu selon l'application :

- de bandes plastiques renforcées
- de bandes abrasives au silicium, ou de brosses métalliques

Les croisillons en spirale assurent une efficacité maximale.

La face arrière est un disque plastifié, concave, imperméable. Il assure entre l'amont et l'aval l'étanchéité nécessaire, et fait office de piston lorsque la pression lui est appliquée.

Le nez, de forme ogivale, favorise la propulsion, en particulier dans les accidents de parcours.

Une découpe appropriée assure la pénétration du fluide dans la mousse à alvéoles ouvertes.

Le racleur introduit est surdimensionné par rapport à la section de passage.

Sous l'effet de la pression et du mouvement, le corps se comprime longitudinalement et s'expande radialement.

.../...

Parallèlement se crée un débit de fuite à faible volume et à forte pression entre la paroi et le racleur ; ce phénomène facilite la progression de celui-ci, et assure la désintégration des dépôts et leur maintien en suspension.

Suivant la nature et l'importance du dépôt, le nettoyage est assuré par l'envoi dans la canalisation d'une série de racleurs.

A partir d'une gare de lancement installée en amont, les racleurs sont introduits par séquences successives.

D'abord un racleur testeur indiquera la section de passage minimale à prendre en compte.

Puis, des racleurs de nettoyage de diamètres croissants détruiront le dépôt.

Enfin, pour parachever l'opération, les racleurs de finition élimineront les dernières particules en suspension.

L'envoi d'un racleur testeur, en fin de nettoyage, confirmera le succès de l'opération.

En aval, les racleurs sont récupérés, suivant la configuration du réseau :

- à gueule bée
- dans un réservoir
- dans une gare de réception

Pourquoi la technique TROUVAY & CAUVIN est-elle déjà adoptée par de nombreux exploitants de réseau d'eau ?

Parce qu'elle est   SIMPLE  
                          ECONOMIQUE  
                          EFFICACE

- SIMPLE :

Pas d'équipements particuliers, la seule pression du réseau suffit.

Applicable par l'exploitant lui-même, sans recours à des spécialistes.

.../...

- ECONOMIQUE :

Le Canal de Provence nous communique :

"Eau brute diamètre 900, longueur 4 km 500, dépôt crustacés 3 mm, débit initial 950 litres/seconde, débit constaté suite encrassement 750 litres/seconde. Coût d'investissement d'un surpresseur 1 million de francs hors coûts d'énergie. Après utilisation du procédé TROUVAY & CAUVIN : débit 920 litres/seconde pour un coût global de 300.000 F."

- EFFICACE :

Pour des mètres de réseau allant jusqu'à plusieurs dizaines de kilomètres, la gamme des diamètres de 25 à 1500 mm associée à des qualités de mousses différentes permet au procédé TROUVAY & CAUVIN de s'adapter aux situations les plus difficiles.

La S.L.E.E. BIARRITZ nous communique :

"Canalisations de refoulement longueur 6 km 500 diamètre 250, section réduite par oxyde de fer à 220. Trois pompes installées. Suite encrassement, deux peuvent tourner, la troisième disjoncte. Débit constaté 190 m3/heure. Facture d'électricité inadmissible."

Après nettoyage avec les racleurs souples TROUVAY & CAUVIN, le débit effectif de la station est augmenté de 50 %, les trois pompes fonctionnent normalement. Les coûts d'exploitation sont ramenés à des proportions acceptables.

Sans nuisances pour l'abonné, et moyennant une interruption minimale du fonctionnement du réseau, en nettoyage curatif ou préventif, le racleur souple TROUVAY & CAUVIN est la solution simple, économique et efficace à vos problèmes d'encrassement de conduites.

Avec ses spécialistes, TROUVAY & CAUVIN étudiera votre chantier, choisira la solution adaptée, formera votre personnel et vous assistera techniquement, pour votre tranquillité.

Conférence présentée par Monsieur ROSIO, FONDATION DE L'EAU

\* \* \* \*

La micro-informatique au service du distributeur d'eau potable

Le but de cette conférence introductive, est de passer en revue les potentialités de la micro-informatique par rapport aux problèmes de gestion, de maintenance et de travaux de distribution d'eau potable.

Sans avoir la prétention d'être exhaustive, cette analyse se limitera également aux utilisations du micro-ordinateur, encore appelé "ordinateur personnel".

L'approche qui a été réalisée, est celle d'un ingénieur et non pas d'un informaticien professionnel.

Il faut donc se replacer dans le contexte de l'exploitant distributeur d'eau potable, et non pas au niveau du service centralisé de la gestion des abonnés ou dans le centre de calcul des bureaux d'études.

L'exposé se divisera en trois parties :

- 1 - L'outil informatique : les critères de choix
- 2 - Le micro-ordinateur au service des tâches de gestion
- 3 - L'apport de la micro-informatique au service de l'ingénieur.

## I - L'OUTIL INFORMATIQUE ; LES CRITERES DE CHOIX

Consultons les catalogues des différents constructeurs ; on y retrouve un certain nombre d'informations techniques communes, permettant de comparer les possibilités des appareils allant de "l'ordinateur familial" au "micro-ordinateur professionnel".

On distinguera :

### A - Les entrées :

- le clavier : en particulier deux types : les claviers AZERTY et QWERTY, dont la facilité d'utilisation pourra être comparée à celle d'une machine à écrire. Le nombre et la nature de touches préprogrammées constitueront également un critère de choix.
- Les lecteurs de cassettes et de disquettes : pour des fins d'utilisation professionnelle, les lecteurs de disquettes présentent l'avantage d'une plus grande rapidité dans l'utilisation des programmes, ainsi que d'une capacité mémoire supérieure.

- Le stylophotostyle : permet l'utilisation de certains programmes avec des commandes simplifiées au moyen de l'action sur l'écran.
- Les capteurs : l'entrée de signaux du type 4-20 mV offre de nombreuses possibilités de gestion de données d'un service d'eau (capteurs sur station de traitement, débitmétrie etc...).
- Le téléphone : le raccordement sur le réseau téléphonique ordinaire offre l'immense avantage des possibilités de la télématique (télétransmission, téléalarmes, télégestion).

Elle permet en particulier au gestionnaire, Chef de secteur d'un réseau d'eau potable de transmettre ses données au siège central, de surveiller des postes éloignés, etc...

L'équipement d'un micro-ordinateur avec les aménagements et les périphériques décrits ci-dessus entraîne des surcoûts, qui doivent faire souvent l'objet d'une demande spéciale auprès du distributeur des micro-ordinateurs. A considérer donc dès le début.

#### B - L'ordinateur lui-même :

On distinguera schématiquement entre les bases de données d'entrée et de sortie :

- Le microprocesseur : le cerveau de l'appareil, traite un très grand nombre d'informations par seconde. On distinguera les modèles 8 BITS, traitant des unités d'information d'un octet à la fois et les modèles 16 BITS, qui ont élargi les possibilités du micro-ordinateur aux programmes et logiciels gérant des calculs et des fichiers plus complexes (cf. chapitre III).
- La mémoire morte ou ROM (Random Only Memory) ; mémoire intrinsèque de l'appareil pouvant contenir fonctions, langages, facilités diverses.
- La mémoire vive ou RAM (Random Access Memory), qui fonctionne lorsque l'ordinateur est sous tension. Il faut souvent estimer la capacité réelle de cette mémoire car une partie peut être utilisée par le langage ou le programme.
- Les cartes : on distinguera les cartes nécessaires aux périphériques décrits précédemment et les cartes "langages" permettant d'utiliser des logiciels divers. Il convient de se renseigner également sur le prix de ces cartes, qui n'est pas négligeable par rapport au coût du micro-ordinateur de base.

#### C - Les sorties :

Outre le lecteur de disquettes ou de cassettes, le téléphone permettant d'enregistrer des sorties, on distinguera :

- l'écran, qui peut être un téléviseur ou un moniteur, dont la définition des points horizontaux et verticaux limitera la résolution graphique (pixels).



- L'imprimante, dont il faut examiner les capacités (forme des caractères, graphiques ou non etc...).
- La machine à écrire, permettant l'édition en traitement de texte (lettres, facturation, etc...).

## II - LE MICRO-ORDINATEUR AU SERVICE DES TACHES DE GESTION

Une des premières applications aisées de la micro-informatique pour un distributeur d'eau potable est la création de fichiers, qui ne nécessite aucune connaissance particulière en informatique.

La plupart des micro-ordinateurs peuvent être équipés de logiciels (visicalc, supercalc, multiplan, etc...) permettant de créer des fichiers de 2 à 15 Ko sur une disquette souple de capacité totale 320 Ko, par exemple.

Ces logiciels de base sont d'une utilisation très simple, permettant la localisation précise des données au moyen des curseurs du clavier, d'obtenir des totaux horizontaux, verticaux, des calculs automatiques, une édition graphique etc...

Il convient de dupliquer au fur et à mesure de la création des fichiers la disquette de stockage afin d'éviter toute détérioration accidentelle. On pourra donc créer des fichiers :

- d'ACHATS ou de STOCKS pour l'ensemble des fournitures du magasin de tuyauteries, robinetterie, boulonnerie, réactifs, carburants etc...

Avec l'expérience, ces fichiers permettront de grouper des achats et obtenir des remises, de prévenir les stocks minimaux, d'ajuster les prix unitaires et de faciliter l'émission des bons de commande, de transmettre les montants d'immobilisations à la comptabilité.

- de GESTION des travaux ; ces fichiers seront très utiles au distributeur d'eau potable, car en conservant en mémoire les durées, les dates, le matériel utilisé, l'endroit, le nom des ouvriers d'intervention, le responsable d'un secteur pourra :
  - . préparer la périodicité de la maintenance préventive en fonction des points faibles du réseau,
  - . préparer les stocks de pièces détachées,
  - . rechercher les travaux déjà réalisés dans un secteur (problème du repérage précis).

Bien entendu, d'autres données de consommations électriques, de débits, de fonctionnements horaires pourront être traitées sous forme de fichiers et développer utilement la connaissance du réseau de distribution d'eau.

Avec l'utilisation de logiciels plus complexes de nombreuses autres utilisations sont possibles. Les limites semblent reculer au fur et à mesure des progrès de la technologie, cependant certaines réserves décrites dans ce qui suit pourraient être discutées lors du débat :

- l'informatisation de la maintenance préventive ; elle risque dans certains cas d'être difficilement utilisable par les agents d'exécution, pour lesquels un tableau à fiches serait plus adapté.
- La gestion des pièces détachées dans un grand service d'eau ; l'utilisation des microfiches est peut être plus adapté.
- L'établissement de plans du réseau. Les mémoires nécessaires et le coût des périphériques sont à la limite des possibilités de la micro-informatique ou du seuil de rentabilité.
- Une remarque similaire s'impose en ce qui concerne la gestion des abonnés, qui peut être plus efficace au niveau central sur de plus gros ordinateurs, pouvant traiter à la fois les relevés, les statistiques, la facturation et le contentieux.

Il existe cependant au niveau du relevé des comptes des dispositifs micro-informatiques, qui peuvent avec un micro-ordinateur situé au niveau d'un secteur organiser les tournées des releveurs en programmant des appareils portables que les releveurs emmèneront sur le terrain, et sur lesquels grâce à des touches préprogrammées, les index pourront être stockés en mémoire en limitant les risques d'erreurs.

Les points forts de cette technique sont : la limitation des recopies inutiles, les facilités du traitement bureautique, la transmission télématique des données aux services centraux, rapide et sure.

#### IV - L'APPORT DE LA MICRO-INFORMATIQUE AU SERVICE DE L'INGENIEUR

On entend par là les apports en matière de calculs hydrauliques, de calcul de travaux et autres applications des sciences de l'ingénieur.

Avant que les micro-ordinateurs ne deviennent aussi populaires qu'ils le sont à l'heure actuelle, les ingénieurs utilisaient des calculatrices programmables.

Les premières étaient équipées de touches préprogrammées du type RCL, STO, M+, SUM, effectuant des fonctions plus ou moins complexes.

A l'heure actuelle il existe des calculatrices programmables en basic, de manipulation plus aisée et plus rapide.

Prenons en exemple le simple calcul des pertes de charges à travers un divergent (cf. tableaux présentés).

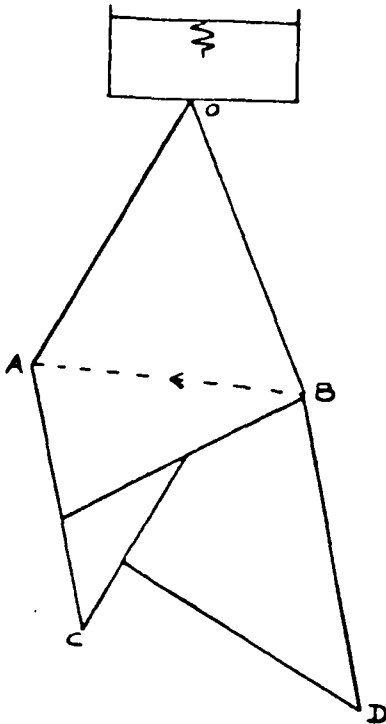
La logique de ce langage facilement accessible, car proche de la logique "mécanique" du calcul, a permis des développements importants des outils de calculs propres à l'hydraulique des réseaux urbains.

Une première application est le calcul de l'optimisation du coût d'un réseau urbain.

Une partie des programmes existants découlent des applications déjà réalisées dans le cadre des réseaux d'irrigation par la méthode de HARDI-CROSS et plus récemment de LABYE (CEMAGREF, Ministère de l'Agriculture) par exemple.

Dans tous les cas on compare le coût et les performances du réseau. Ci-après un exemple.

Soit un réservoir et deux canalisations principales OA et OB, ainsi qu'un réseau de distribution A, B, C, D. Le choix du diamètre des canalisations influera à la fois sur les pertes de charge et le coût du projet.



|  | $\Delta H_1$   | $\Delta H_2$        |
|--|--|---------------------|
| ① OA et OB en $\phi$ 600 mm<br>H = 2 m                   | ① OA et OB en $\phi$ 500 mm<br>H = 6 m                   |                     |
| ② AC, BD et autres en $\phi$ 150 mm<br>$\Delta H = 30$ m | ② AC, BD et autres en $\phi$ 200 mm<br>$\Delta H = 26$ m |                     |
| TOTAL  | $\Delta H_1 = 32$ m                                      | $\Delta H_2 = 32$ m |
|  |  | ECONOMIES 30 %      |

$\Delta H_1$  représente la perte de charge au point le plus défavorisé (au niveau de la pression), sans optimisation au niveau du coût.

$\Delta H_2$  représente la perte de charge au point le plus défavorisé avec une optimisation du coût.

En effet, après optimisation du coût pour une perte de charge identique ( $\Delta H_2 = \Delta H_1$ ), des économies de 30 % ont pu être réalisées en remplaçant les conduites OA et OB prévues initialement en  $\varnothing$  600 par du  $\varnothing$  500 et les tronçons du réseau ABCD prévus en  $\varnothing$  150 par du  $\varnothing$  200.

Le nombre d'itérations nécessaires pour ce type de calcul rend presque impossible une application manuelle, d'autant plus lorsque le réseau est maillé.

Un grand nombre d'autres applications sont possibles en ce qui concerne les projets de renforcement, de maillage, d'interconnexion, de construction de réservoirs et de stations de pompage.

Les programmes existants fonctionnent par SIMULATION du fonctionnement du réseau en indiquant les mauvais remplissages de réservoirs, les pressions insuffisantes, la circulation des débits (cas des réseaux maillés). Les progrès actuels en matière de technologie des micro-ordinateurs, qui s'accompagnent d'une forte baisse des coûts permet le transfert de ces programmes réservés il y a quelques années aux ordinateurs puissants, aux micro-ordinateurs, avec une rentabilité presque immédiate.

L'ensemble des données nécessaires à la mise en route de ces programmes : plans de recolement, consommations, coefficient de rugosité etc..., demanderont un effort de collecte de la part de l'exploitant, mais ce travail en soi et les résultats des simulations lui apporteront une connaissance meilleure de son réseau, lui permettant d'assurer une fiabilité de fonctionnement quotidien et d'optimiser les investissements à venir en fonction d'objectifs de fiabilité du service, et de rentabilité.



**fondation de l'eau**

**COLLOQUE INTERNATIONAL**  
***Sessions de perfectionnement technique***

---

**EAU - FORMATION - DEVELOPPEMENT**

ABIDJAN - 2-15 FEVRIER 1986

---

THEME GENERAL V

Assainissement

10 février 1986

Conférence présentée par Monsieur KOFFI - SODECI

\* \* \*

Gestion et entretien des réseaux d'assainissement  
Intérêt des bassins de retenue d'eaux pluviales

Notre exposé va porter sur la gestion et l'entretien des réseaux d'assainissement en général, mais nous nous limiterons au seul cas d'Abidjan particulièrement.

Nous pensons que gérer un réseau d'assainissement revient à la mise en place d'un service de gestion responsable des prévisions et des planifications sous l'angle technique, d'économie d'énergie et financier.

Un réseau d'assainissement et l'ensemble des installations mécaniques nécessitent un entretien périodique, faute de quoi les canalisations s'engorgent ou se rompent, le matériel se détériore et les remises en état de bon fonctionnement deviennent coûteuses.

Ainsi, entretenir c'est maintenir en bon état de fonctionnement les réseaux et les ouvrages, autrement dit assurer toute la maintenance des équipements (nettoyage, curage, réparation, remplacements des pièces détériorées etc...).

Devant ces problèmes épineux de gestion et d'entretien des réseaux d'assainissement, la SODECI, en tant que distributeur d'eau, et à la demande de la municipalité, a créé depuis 1969 un service d'exploitation des réseaux d'assainissement de la ville d'Abidjan.

A partir de 1975, les réseaux d'assainissement ont augmenté tant en quantité qu'en qualité avec la création de la SETU, Société d'Etat, qui a la charge des infrastructures publiques d'assainissement et de drainage.

Pour gérer tous les équipements, la SETU a concédé à la SODECI, l'exploitation et l'entretien de tous les réseaux du domaine public. La SODECI mène à bien la tâche qui lui est confiée par un contrat d'affermage avec la SETU, celle-ci se réservant la maîtrise d'ouvrage et le financement des investissements. Les droits et les obligations de la SODECI sont consignés dans un cahier des charges. Pour amortir les investissements et assurer la rémunération du fermier, le gouvernement a créé un Fonds National d'Assainissement alimenté par une taxe d'assainissement incluse dans le prix de vente de l'eau.

En plus du contrat d'affermage avec la SETU, la SODECI a signé d'autres contrats d'exploitation des réseaux d'assainissement avec des Sociétés immobilières, des organismes gouvernementaux et des Sociétés privées de la place.

Le réseau d'assainissement de la ville d'Abidjan est estimé actuellement à environ 2000 km dont 70 % en canalisations enterrées. Le service d'assainissement s'est développé pour faire face à tous les problèmes, et est érigé en une direction centrale de la SODECI. Cette direction emploie une centaine de personnes réparties dans des différents services dépendants de deux Sous-Directions. Il s'agit de la Sous-Direction d'Exploitation et de la Sous-Direction Technique et Administrative.

La Sous-Direction d'Exploitation est équipée de plusieurs véhicules dont :

- 8 bennes,
- 1 aspiratrice,
- 7 cureuses hydrodynamiques combinées,
- 2 riors (engin à haute pression pour passages étroits),
- des voitures légères de liaison,
- 1 appareil à haute pression pour terrain difficilement praticable.

De cette Sous-Direction dépendent les agents d'entretien de réseaux et les agents d'entretien des stations de relèvement et d'épuration. Nous entretenons environ par an 800 km de canalisations enterrées de diamètre variant de 0,2 à 1,2 m et 1000 km de caniveaux à ciel ouvert.

L'entretien des réseaux non visitables est effectué à l'aide des cureuses hydrodynamiques dont la technique de curage est la suivante :

de l'eau propre est introduite sous pression à l'aide d'un tuyau armé de nylon qui débite 1,5 à 6 l/S à la pression de 50 à 150 bars. Un jet central dirigé vers l'avant désagrège les boues et les matières solides tandis que des jets latéraux dirigés vers l'arrière assurent l'évacuation et l'avancement du flexible. Le nettoyage se fait de l'aval vers l'amont. Les boues accumulées dans le regard aval sont aspirées à l'aide d'une pompe à vide et sont mises dans le compartiment de la citerne destinée à cet effet. L'efficacité de l'appareil est inversement proportionnelle au diamètre de la conduite, nous avons également une équipe manuelle qui fait le curage des conduites de diamètre supérieur à 1000.

Il faut signaler que sur 7 cureuses hydrodynamiques de l'assainissement, 5 assurent le curage systématique d'entretien préventif. Les deux autres sont destinées aux interventions ponctuelles de débouchage de bouts de réseau.

La Sous-Direction Technique et Administrative s'occupe des travaux de remise en état de la gestion du personnel, des études et devis pour des particuliers et organismes privés ou gouvernementaux.

Cette Sous-Direction dispose d'électromécaniciens, de topographes et métresseurs et d'un chimiste. Les gros entretiens sont confiés à cette Sous-Direction.

Un service de travaux de réhabilitation est rattaché à la Sous-Direction d'Exploitation. Ce service exécute les travaux de réfection de conduites, d'avaloirs, de regards et les travaux de branchement des particuliers au réseau public.

Les difficultés auxquelles nous sommes confrontés sont d'ordres multiples.

Contrairement à la Direction d'Exploitation des eaux potables, la Direction d'Assainissement n'est pas associée ou très peu à l'élaboration des projets d'assainissement.

Il y a le problème de topographie du terrain qui entraîne la réalisation de réseaux à pente très faible. De plus, l'existence de beaucoup de sable à Abidjan fait que les réseaux s'obstruent très facilement surtout à la saison de pluies.

- Existence des branchements pirates saillants,
- branchement des eaux usées dans le réseau eau potable et inversement quand il s'agit de réseau séparatif,
- les lieux de dépotage des déchets, de curage sont inexistantes dans tous les quartiers,
- certains réseaux sont inaccessibles aux engins de curage et quand il y a des problèmes, il faut faire appel aux engins de terrassement.

Quelquefois, nous ne disposons pas de plans de certains réseaux. Enfin par manque d'éducation des utilisateurs des ouvrages d'assainissement. Dans certains quartiers, on transforme les avaloirs en lieux de déversement des eaux usées domestiques avec tous les déchets solides que comportent ces eaux. Cette pratique occasionne des obstructions fréquentes des avaloirs qui dégagent des odeurs désagréables.

S'agissant des stations, nous exploitons 41 stations de relèvement et 32 stations d'épuration.

Nous disposons d'équipes d'électromécaniciens qui passent chaque jour sur les différentes stations pour faire le dégrillage, le contrôle des pompes et des armoires électriques, le relevé des index. Régulièrement, nous enlevons le sable qui s'accumule dans les bâches de stations afin que les pompes fonctionnent sans difficulté.

Pour chaque station, nous disposons d'un fichier sur lequel sont mentionnées la date de mise en service, les grosses réparations. Les problèmes sur les stations sont ceux de maintenance.

Toutes nos équipes, que ce soit celles d'intervention sur réseau ou celles de stations, sont dotées de radio-téléphone pour faciliter les communications.

En conclusion de cette partie, nous dirons ceci :

pour organiser convenablement un service d'entretien d'assainissement, il est nécessaire de disposer de plans conformes à l'exécution, donnant la nature, le diamètre des canalisations, l'emplacement des regards et des ouvrages, des côtes etc...



Le service de gestion et d'entretien des réseaux d'assainissement doit être efficace sur le plan technique compte tenu de la complexité de la tâche, car une station en arrêt entraîne la mise en charge du réseau en amont.

Pour terminer, nous allons rapidement parler des bassins de retenue d'eaux pluviales.

Ces bassins ont pour fonctions de retenir temporairement les eaux pluviales et sont donc destinés à maîtriser les débordements en raison de l'insuffisance du réseau aval et de les restituer à faible débit sur un temps plus ou moins long.

Un bassin de retenue à eau peut servir d'ouvrage d'amélioration de cadre de vie à condition de le maintenir en bon état. La réalisation d'un bassin de retenue entraîne une réduction du coût d'investissement car de gros diamètres qui ne fonctionnent qu'un 1/4 du temps à pleine charge sont coûteux.

De cette analyse, il apparait que les bassins de retenue jouent un rôle important dans l'évacuation des eaux pluviales.

A Abidjan, seul un quartier périphérique, sujet autrefois aux inondations fréquentes a bénéficié de la construction d'un certain nombre de bassins. Bien que ces bassins présentent des avantages, il n'en demeure pas moins certains inconvénients. Il s'agit particulièrement du transfert de la pollution à la nappe et de l'entretien permanent car il est nécessaire de les rendre attrayants. De plus, leur implantation nécessite une étude d'impact sociologique.

Conférence présentée par Mademoiselle JAUBERT, FONDATION DE L'EAU

\* \* \* \*

Le lagunage naturel : processus de l'épuration  
Problèmes liés au fonctionnement et à l'exploitation

## I - INTRODUCTION

En même temps que l'on se doit de fournir de l'eau potable à l'ensemble de la population de la planète, il faut pour des raisons évidentes de santé, d'hygiène, de confort et de protection de l'environnement et des ressources, être capable de traiter les eaux usées provenant de la vie des populations.

Un large éventail de techniques s'offre aux responsables de l'eau. Cependant, ceux-ci se trouvent placés devant un problème de choix très sévère. Non seulement ils devront prendre en compte les données techniques (nature, qualité, quantité des effluents) mais également les données économiques (coûts d'investissement et de fonctionnement adaptés aux finances locales).

De plus, autant que faire se pourra, il ne faudra pas non plus ignorer le lieu, la géographie et le climat du pays ou de la région dans lesquels elles seront installées.

L'ensemble de ces paramètres ont donc incité les responsables à rechercher des procédés rustiques, fiables et peu onéreux.

Parmi les techniques actuellement disponibles, le lagunage naturel apparaît particulièrement adapté au traitement des eaux usées domestiques de petites collectivités des régions tropicales et subtropicales.

## II - LE LAGUNAGE NATUREL - UNE TECHNIQUE ADAPTEE

Le lagunage naturel est en effet une technique adaptée pour plusieurs raisons.

Il s'agit :

- d'un procédé simple faisant appel à des phénomènes naturels,
- d'un traitement intégral la plupart du temps : seule une fragilité particulière du milieu récepteur nécessitera un traitement tertiaire,
- d'une technologie relativement peu onéreuse et compétitive, comportant un minimum d'ouvrage et nécessitant pas ou peu d'énergie.

De plus, le lagunage naturel est un procédé d'un suivi facile ne demandant qu'une exploitation réduite. A cause du climat, de la température et de la durée d'ensoleillement, il est particulièrement bien adapté aux pays tropicaux.

Enfin, tout en ayant une efficacité vis à vis de la pollution carbonée comparable à celle obtenue avec les traitements conventionnels, le traitement par lagunage naturel est particulièrement intéressant pour l'élimination des germes.

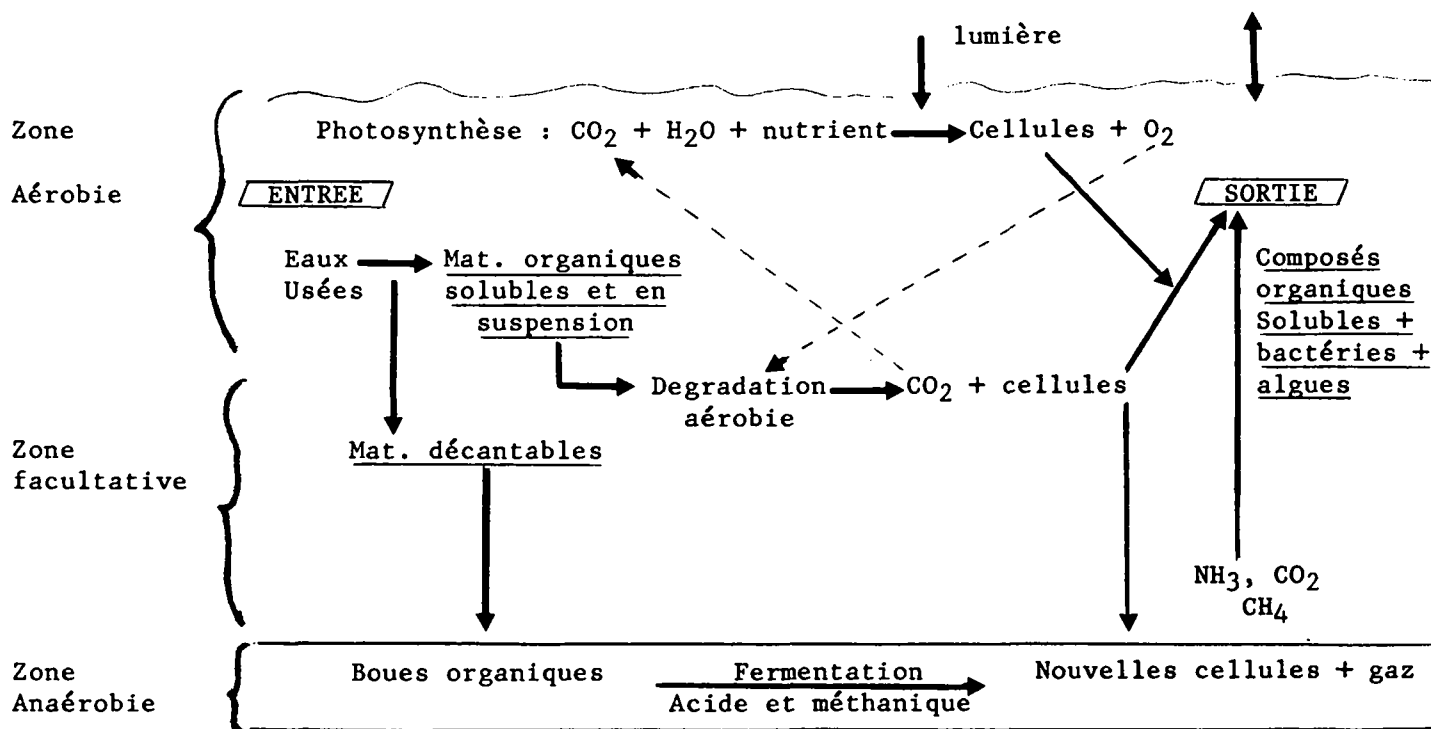
Cependant, comme tout procédé, le lagunage comporte également des inconvénients.

Etant donné, qu'il s'agit de phénomènes biologiques naturels, l'épuration est lente et nécessite pour être suffisante, de longs temps de séjour et donc des surfaces importantes.

De plus, si la conception et/ou l'exploitation est mauvaise, il y a risque d'odeurs et de prolifération de moustiques.

### III - PROCESSUS DE L'EPURATION

On peut donner la représentation graphique suivante :



#### Zone anaérobie

Les matières en suspension décantables se rassemblent en fond de bassin où il se développe des bactéries anaérobies produisant une fermentation.

### Zone facultative

L'oxygène dissous n'est pas nécessaire tout le temps dans cette zone. Durant le jour, elle est aérobie, durant la nuit, anaérobie.

### Zone aérobie

Cette zone est constamment en aérobiose. L'oxygène provient à la fois de la photosynthèse (jour) et des échanges air/eau.

## IV - EDIFICE BIOLOGIQUE - ROLE

Cet édifice biologique est varié et comporte à la fois :

- Des bactéries aérobies pour la plupart, assurant la minéralisation de la charge organique.

- Des algues microscopiques dispersées dans le milieu ou fixées sur des plantes supérieures.

Ces algues fournissent l'oxygène au milieu (photosynthèse), sont une source d'énergie pour la faune, assimilent la matière minérale, ont un rôle bactéricide et contribuent aux variations de pH du milieu (absorption de CO<sub>2</sub>).

- Des végétaux supérieurs libres ou fixés dont le rôle principal est de servir de support aux algues et bactéries les évitant de s'échapper dans l'effluent de sortie.

- Des microorganismes variés (ciliés, rotifères, cladocères...). Les rôles principaux de ces microorganismes sont : d'éliminer les matières en suspension par filtration et donc de participer à l'augmentation de la transparence du milieu, de contrôler la prolifération algale, de diminuer le nombre de germes pathogènes par excrétion de substances bactéricides.

## V - BASES DE DIMENSIONNEMENT POUR LES PAYS A CLIMAT TROPICAL

Les critères de dimensionnement sont fonction des données climatiques locales. Ceux mentionnés dans la littérature sont empiriques. Ils s'établissent dans les fourchettes suivantes :

- . Temps de séjour : 20 à 30 jours
- . Charge : 80 à 100 kg DBO<sub>5</sub>/ha
- . Surface : 4 à 5 m<sup>2</sup>/habitant
- . Profondeur : 1,10 à 1,30 m

De plus, il est conseillé de prévoir plusieurs bassins. Chacun correspondant à un stade de dégradation de la matière organique différent, sera colonisé par des espèces spécifiques à la charge polluante.

## VI - PROBLEMES DE FONCTIONNEMENT POUVANT ETRE RENCONTRES

Différents problèmes peuvent se présenter lors du fonctionnement. Ils sont la plupart du temps dus à une mauvaise conception, et/ou à une mauvaise exploitation. Ils sont :

- Difficultés de remplissage des bassins : peuvent être dues soit à une mauvaise étanchéité, soit à un surdimensionnement des bassins. Elles peuvent entraîner soit des pollutions de la nappe sous jacente, soit des nuisances (odeurs, moustiques) soit des proliférations de végétaux supérieurs.

- Développements de végétaux : dûs soit à une hauteur d'eau insuffisante dans les bassins, soit à un défaut d'entretien.

La présence de végétaux favorise le développement des larves de moustiques et dégrade l'aspect général des installations.

- Prolifération de rongeurs : entraînant à terme des dégradations des digues, ils doivent être chassés par des campagnes de dératisation et par des visites fréquentes.

- Présence de moustiques : dûe la plupart du temps à un mauvais entretien (manque de faucardage), ils peuvent être détruits soit par des larvicides soit en empoisonnant le dernier bassin avec des gambusies.

- Présence de dépôts en surface : ces dépôts peuvent provenir d'un prétraitement insuffisant (dégrillage, dégraissage) ou de remontées de boues en surface.

Leur présence, si elle est importante peut gêner la pénétration de la lumière et donc diminuer l'efficacité du traitement. De plus, ces dépôts sont généralement générateurs d'odeurs et favorables au développement de larves de moustiques.

- Présence d'odeurs : les odeurs sont dues, soit à une surcharge de l'installation, soit à une mauvaise circulation de l'eau, soit à la présence d'effluents septiques incompatibles avec un traitement par lagunage.

- Couleur : la couleur des bassins, verte en fonctionnement normal, peut devenir blanc laiteux, rose ou brune, du fait du développement important de certains types de microorganismes. Les causes probables peuvent être : une surcharge ou un sous-dimensionnement, un effluent présentant une forte septicité, la présence d'effluents industriels fortement fermenticibles.

## VII - TACHES D'EXPLOITATION - ENTRETIEN DES LAGUNES

Le caractère rustique du lagunage naturel lui confère une grande autonomie de fonctionnement et permet une certaine souplesse pour l'accomplissement des opérations de maintenance. Cependant, la souplesse et la simplicité d'exploitation ne doit pas aller jusqu'à une absence d'entretien qui se traduirait à terme par un abandon pur et simple.

La grande majorité des tâches régulières de maintenance peuvent être effectuées par du personnel non spécialisé et ne font appel qu'à des matériels facilement disponibles en milieu rural.

Les différentes tâches seront :

- . A la mise en service
  - mise en eau
  - plantation des macrophytes
- . Opérations régulières
  - entretien des prétraitements
  - surveillance générale
- . Faucardage
- . Soutirage des boues
- . Tenue d'un cahier d'exploitation

#### VIII - CONCLUSION

Correctement dimensionné, le lagunage naturel peut apporter une solution intéressante pour le traitement des eaux résiduaires des petites collectivités.

Cependant, comme tout procédé, ce mode de traitement présente des avantages et des inconvénients et il ne peut donc être considéré comme une panacée universelle.

Malgré les désavantages (odeurs périodiques, pollution possible de la nappe, surface de terrain nécessaire), ce procédé est largement répandu tant en France qu'à l'Etranger.

Conférence présentée par Monsieur TOUBLANC, Direction de l'Eau

\* \* \* \*

## Le Lagunage

### INTRODUCTION

Melle JAUBERT vous a présenté le principe de l'épuration biologique des eaux usées par lagunage, ainsi que les méthodes de dimensionnement et les indicateurs de fonctionnement faisant ressortir l'intérêt de ce procédé pour les pays africains principalement au niveau sanitaire et de l'entretien des ouvrages.

Il faut cependant préciser que cette filière n'est pas la panacée universelle et qu'il convient de respecter impérativement certaines règles élémentaires et d'adapter la conception et le dimensionnement des ouvrages aux conditions climatiques de chaque site, si l'on ne veut pas obtenir des contre-performances ; il est bien entendu nécessaire au préalable de disposer d'un réseau en fonctionnement.

Je compléterai donc l'exposé de Melle JAUBERT en abordant, à partir de support diapositives les points importants de la conception, de la réalisation de ces ouvrages avant de présenter deux réalisations récentes ivoiriennes.

### DIVERS TYPES DE LAGUNAGE

Au préalable, je vais illustrer pour mémoire les divers types de lagunage.

Nous découvrons ici des lagunages à macrophytes, c'est-à-dire composés de végétaux macroscopiques (algues et végétaux supérieurs) qui servent de supports fixes à des organismes très actifs pour l'épuration et assurent un échange nutritionnel avec le sédiment et l'eau. La faible hauteur d'eau dans ces bassins (0,2 m à 0,50 m) et le développement de végétaux excluent ce procédé pour les pays africains compte tenu des problèmes de moustiques, de parasites et d'exploitation.

Le lagunage aéré se rapproche d'une station d'épuration biologique et se compose généralement d'un bassin d'aération et d'un bassin de décantation, sans recirculation de culture bactérienne ; ce procédé possède presque tous les inconvénients d'un traitement biologique classique par boues activées, et doit être seulement envisagé pour attaquer une forte charge de pollution, principalement industrielle.

Faut-il installer un décanteur ou un décanteur-digesteur avant la lagune ? La mise en place de cet ouvrage qui permet d'éliminer 1/3 de la DB05 double le prix de l'installation et nécessite un entretien (extraction, séchage des boues) qui ne se justifie que lorsque la place disponible est limitée, ce qui est rare dans nos pays.

Le lagunage tertiaire en complément d'une station d'épuration permet une élimination poussée des bactéries, traitement nécessaire dans le cas d'un rejet dans un milieu sensible, mais son fonctionnement peut être perturbé par l'étape biologique du secondaire. Le coût et les contraintes d'exploitation d'une station biologique classique ne justifient pas ce procédé, sauf dans le cas de limitation de surface.

Voici enfin le lagunage à microphytes faisant intervenir des algues microscopiques (bleues, vertes, brunes) suivant la charge et la température et une culture bactérienne pour l'essentiel en suspension de type aérobie ou anaérobie suivant la profondeur ; cette installation de capacité 100.000 équivalents-habitants est de type aérobie, comme la plupart des installations européennes ou américaines, mais il apparaît à la réflexion que du lagunage mixte aérobie - anaérobie au niveau du premier bassin de profondeur plus importante (2 à 4 m) serait mieux adapté aux températures constantes assez fortes, à l'élimination des parasites et limiterait l'effet de l'évaporation dans les pays africains ; mais ces questions feront sûrement l'objet du débat et faute d'expérience dans ce domaine, nous allons donc aborder maintenant la conception des installations de type aérobie, ce terme était erroné quand on sait que la zone active oxygénée est de l'ordre de 30 cm.

#### CONCEPTION : INTEGRATION AU SITE

Le caractère extensif du procédé de traitement par lagunage offre aux concepteurs une très large facilité d'adaptation au site (forme des bassins, nombre, agencement) qui doivent cependant s'inscrire dans un cadre défini par quelques règles qui découlent des processus décrits par Melle JAUBERT, et que nous allons aborder maintenant. Remarquons au passage l'intégration au site offert par ce lagunage tertiaire après un traitement physico-chimique.

#### BATILLAGE

Il convient d'étudier au préalable le régime des vents porteurs d'odeurs et de moustiques pour implanter les ouvrages. Pour des grands bassins il apparaît indispensable de prévoir une protection antibatillage, ici enrochement de 20 à 30 cm posé sur bâche butyle dans la zone du vent, sinon nous verrons apparaître rapidement une dégradation de la digue et un développement de végétaux supérieurs.

La protection des berges est un des problèmes les plus importants à étudier et nous allons y revenir au moment de la réalisation des travaux.

#### FORME DES BASSINS

Restons dans les digues, pour rechercher la meilleure forme des bassins afin d'éviter les chemins préférentiels, les zones mortes de dépôt. Le contour arrondi des extrémités des bassins aboutissant à une forme de "patatoides" semble la meilleure solution tout en diminuant la longueur des digues à surface égale.



### CHICANES

Certains concepteurs prévoient des chicanes dans le but d'allonger le cheminement de l'eau dans les bassins mais cet écoulement en piston semble contraire au processus de mélange intégral d'un lagunage et entraîne surtout des contraintes d'exploitation en étant de plus, souvent d'accès difficile.

### NOMBRE DE BASSINS

L'installation de lagunes peut comporter un ou plusieurs bassins en série ou en parallèle ; lorsque les lagunes sont en série, cette configuration favorise le fonctionnement du traitement de l'effluent. En effet, une loi générale est que le jeu de la concurrence vitale privilégie la flore bactérienne la mieux adaptée aux conditions du milieu. Par suite chacune des lagunes se trouvera colonisée par une flore algale bactérienne spécifique (que vous pouvez observer sur cette photo). Le nombre de 3 bassins en série semble être un compromis réaliste, le premier bassin comportant une zone de décantation est souvent scindé en 2 ouvrages en parallèle pour faciliter l'extraction des boues, mais cette disposition entraîne des sujétions de mise en oeuvre et d'exploitation qui ne vont pas dans le sens de la rusticité.

### LE SURDIMENSIONNEMENT

Le surdimensionnement des ouvrages est le principal facteur provoquant le mauvais fonctionnement et la dégradation rapide des ouvrages, surtout dans les pays où l'évaporation est intense et les consommations d'eau faibles. L'attention du projeteur est attirée sur la nécessité de bien étudier le bilan hydraulique de l'installation qui doit être dans tous les cas positif, sinon le niveau baissant, la végétation supérieure se développe, favorisant la prolifération d'insectes, de rongeurs, de parasites. Ceci pose le problème des normes de dimensionnement suivant les conditions géoclimatiques et l'expérience des participants sera très appréciée au cours du débat.

### LES PRETRAITEMENTS

Les prétraitements ne sont pas indispensables au bon fonctionnement des lagunages. Cependant, ils se justifient par le souci d'améliorer l'aspect des bassins ; ils doivent être simples pour ne pas entraîner de surcoût et imposer des sujétions importantes d'exploitation.

### DESSABLEUR

Les effluents étant ici très chargés en sable, un dessableur rustique de type chicane peut éviter un comblement précoce des bassins.

### DEGRAISSEUR

Les flottants étant responsables du mauvais aspect du plan d'eau, un simple bassin présentant une cloison syphoïde apparaît comme un dispositif simple de rétention. Cet ouvrage pouvant être incorporé au premier bassin de lagunage.

### ARRIVEE DE L'EFFLUENT

Les ouvrages d'aménée et de liaison sont conçus aussi simplement que possible avec le souci cependant d'éviter les circuits hydrauliques préférentiels.

On conseille classiquement d'équiper l'arrivée des effluents d'un diffuseur dont le débouché se situe au niveau du tiers amont du bassin, si possible noyé à mi-hauteur, pour répartir la charge dans l'ensemble du bassin et étendre la zone des dépôts des matières lourdes.

En fait, pour des petits bassins, la fluidité des dépôts et le brassage naturel du bassin ne justifient ce dispositif que dans le cas d'une alimentation par pompage. De toutes façons, on protégera la berge des affouillements susceptibles d'être provoqués par l'écoulement des effluents sur les diges.

### REPARTITION DES DEBITS

Dans le cas de bassins de tête en parallèle, il est indispensable de prévoir un dispositif de répartition égale des débits sur chaque ouvrage ; sans réaliser des ouvrages très sophistiqués, des vannettes de réglage de niveau peuvent être utilisées ; cependant ces contraintes d'exploitation conduisent souvent à exclure des bassins en parallèle pour de petites installations.

### LIAISON ENTRE BASSINS

Il convient d'extraire les eaux les moins chargées en algues sans entraîner les dépôts de fond, la communication sera réalisée par une canalisation située au niveau du plan d'eau et précédée par une cloison syphoïde ou un T plongeant. On évitera pour des raisons de commodités d'exécution, les canalisations situées en pied de digue.

Le dispositif connu sous le nom de "moine", bien que d'un coût élevé a l'avantage de permettre une variation de la hauteur d'eau dans les bassins.

### REJET DANS LE MILIEU

Ce poste est souvent oublié et pourtant il constitue un milieu favorable au développement de moustiques ou de parasites. La population est de plus attirée par la présence d'eau et l'utilisation de ces rejets doit être contrôlée ou interdite.

### REALISATION

La mise en oeuvre du lagunage reposant essentiellement sur la réalisation de bassins en terre, posera peu de problèmes, sinon que les installations sont fréquemment situées en des points bas, marécageux, en communication avec la nappe.

Un bassin de lagunage ne peut jamais être étanche et on se donnera comme objectif un niveau constant, compte tenu des débits de fuite, de l'évaporation sans négliger le pouvoir colmatant des eaux usées.

## PROTECTION DES BERGES

Pour éviter l'érosion due au ruissellement, le développement de végétaux qui conduisent à une dégradation rapide et irréversible de l'installation, il apparaît impératif de prévoir une protection sur l'ensemble des digues, facilitant aussi l'exploitation des ouvrages.

Les solutions classiques restent l'enrochement, le gros tout venant ou un sol ciment quand on est assuré d'une élimination de la végétation par la tonte de l'herbe ou l'utilisation d'un herbicide sélectif. Mais en l'absence d'un entretien efficace, l'expérience montre que la meilleure solution consiste à mettre en place sur l'enrochement une couche de béton maigre de quelques centimètres, ou de prévoir des parois verticales en béton. Ces revêtements coûteux sont les garants d'un bon fonctionnement et d'un bon état des installations en l'absence d'entretien régulier.

## MISE EN EAU

Le processus de lagunage nécessite pour un bon fonctionnement, un niveau d'eau maintenu sensiblement constant dans les bassins. Nous avons vu qu'il était parfois difficile d'obtenir un bilan hydraulique positif compte tenu des faibles consommations d'eau, de la forte évaporation et des débits de fuite des ouvrages. Il apparaît donc indispensable au préalable de mettre en eau les bassins, soit avec de l'eau potable soit avec de l'eau de ruissellement pluvial en branchant momentanément un réseau pluvial sur le collecteur d'eau usée ; si l'on ne veut pas voir comme sur cette photo : une dégradation des digues, un développement de la végétation avec toutes ses conséquences imaginables.

## OUVRAGES ANNEXES

Quand on dispose de crédits, on peut réaliser un canal de mesure de débit ou une passerelle pour les prélèvements.

## APPLICATION A LA COTE D'IVOIRE

Melle JAUBERT a bien précisé que les méthodes de dimensionnement rationnelles ou empiriques étaient fonction des données climatiques locales, variables suivant les pays.

C'est pourquoi nous avons décidé de tester 2 installations d'épuration par lagunage de même taille, traitant les effluents de lycée technique dans trois zones climatiques représentatives de la Côte d'Ivoire.

Ces installations récentes qui ne fonctionnent pas à leur charge nominale, nous permettent cependant de poser quelques questions à débattre dans quelques instants.

Les 2 installations ont été dimensionnées pour traiter les effluents d'un lycée de 800 internes, représentant une charge nominale journalière de 24 kg de DBO5 pour 48 m<sup>3</sup>/j.

La surface totale est de 2000 m<sup>2</sup> sur la base de 120 kg de DBO5/hab. ou de 2,5 m<sup>2</sup>/hab. prenant en compte les faibles consommations d'eau et un rendement apparemment supérieur en Côte d'Ivoire qu'en Europe à cause de la température élevée ; ces normes restent bien entendu à vérifier et doivent faire l'objet d'une expérimentation FAC.

#### GAGNOA

Nous distinguons 2 bassins de tête en parallèle de 400 m<sup>2</sup> suivis de 2 bassins en série d'une surface élémentaire de 600 m<sup>2</sup>. Remarquons au passage la position opposée des communications entre bassins, diminuant les courts circuits hydrauliques.

Que peut-on dire de cette installation : la vue d'un des bassins de tête, où l'on peut remarquer au passage le parre-flottant en béton ; présente par sa couleur rose un signe de surcharge, alors que l'autre bassin de tête est vide à cause d'une mauvaise répartition des débits.

L'installation n'ayant pas été mise en eau au départ, le deuxième bassin n'arrive pas à se remplir favorisant le développement d'une végétation qui rend impossible l'accès aux ouvrages.

L'absence de fossé de collature et la mauvaise protection des berges (sol-ciment) a conduit au ravinement des digues et à la détérioration des ouvrages non encore réceptionnés.

#### ODIENNE

Après avoir vu un mauvais exemple, découvrons maintenant pour le lycée d'Odienné, des bassins de même surface, de même agencement mais constitués de digue verticale bétonnée et surtout ayant été mise préalablement. Nous voyons les flottants dans le bassin en l'absence de cloisons siphonides.

Nous remarquons la couleur vert foncée du premier bassin signe d'un bon fonctionnement et une reprise directe de l'effluent en surface, à proscrire.

Au niveau du 2ème bassin, la présence en surface de lentilles d'eau, développées en période de brusque changement de température "HARMATTAN", a favorisé le développement de bactéries anaérobies du soufre dont l'effet sur le rendement épuratoire est à étudier.

Les eaux rejetées, d'un faible débit, s'infiltrent dans le sol sur quelques mètres ; dans des conditions cependant propices au développement de moustiques.

La particularité de conception de cette installation consiste en un robinet à flotteur qui permet d'obtenir un niveau constant dans les bassins, en particulier en période de vacances scolaires.

## CONCLUSION

En conclusion, que faut-il retenir :

Si le principe d'épuration par lagunage paraît séduisant pour les pays africains, sans contraintes de place, les précautions indispensables à prendre au niveau des ouvrages de génie-civil, de l'enrochement des digues, des clôtures dont le linéaire est nécessairement élevé, du remplissage des bassins, entraînent des coûts sensiblement équivalents à ceux des stations classiques. Il convient de signaler que le lagunage naturel reste très économique en coût d'exploitation et d'énergie et sa fiabilité et son efficacité bactériologique en font un outil remarquable pour la protection sanitaire des ressources naturelles en eau.

Il ne faudrait pas cependant considérer le lagunage comme une technique d'épuration universelle et beaucoup de questions restent encore à poser :

- Faut-il s'orienter vers du lagunage anaérobie ?
- Le lagunage occasionne-t-il des odeurs ?
- Les lagunes sont-elles des nids à moustiques ?
- Quel est le coût d'une lagune ?
- Faut-il curer souvent les bassins ?
- Un système aussi simple a-t-il un bon rendement épuratoire vis-à-vis des parasites ?

Dans ce domaine, l'expérience de certains pays représentés ici, nous permettra d'apporter des réponses à ces questions et je vais maintenant vous passer la parole en vous remerciant de votre attention en cette fin de stage bien chargée.



# la fondation de l'eau

## **OFFRE AUX INGENIEURS ET TECHNICIENS DE L'EAU ET DE L'ASSAINISSEMENT**

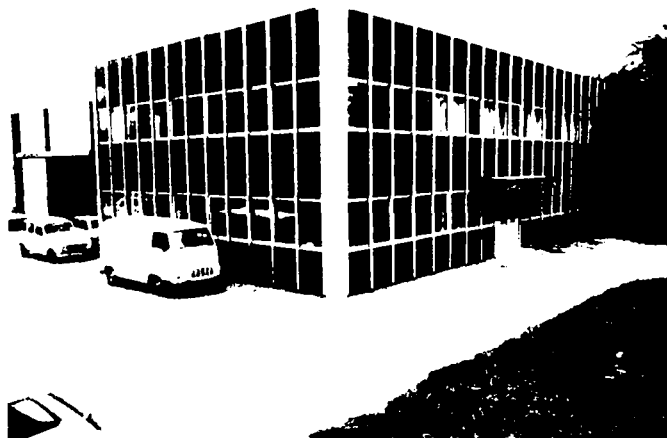
**EN FRANCE ET A L'ETRANGER**

des stages  
de formation  
professionnelle

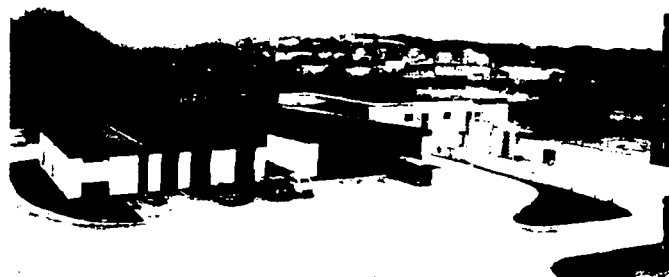
des possibilités  
d'études, de  
recherches appliquées  
et de développement  
technologique

une assistance  
technique à l'exploitation  
des ouvrages

une participation à  
un réseau télématique  
d'échanges d'informations  
et de données



*CENTRE DE NIMOGES*



*CENTRE INDUSTRIEL D'ESSAIS  
ET D'APPLICATION DE LA SOUTERRAINE*