

# LA TECHNIQUE SANITAIRE ET MUNICIPALE

Fondée le 22 Novembre 1905

Reconnue d'utilité publique le 23 Novembre 1918

(Hygiène, Services techniques, Travaux publics)

ORGANE DE L'ASSOCIATION GÉNÉRALE DES HYGIÉNISTES ET TECHNICIENS MUNICIPAUX  
*La Rédaction de la Technique Sanitaire décline toute responsabilité quant aux articles insérés dans la Revue*

C. C. P. Paris 248.67

Siège Social : 9, Rue de Phalsbourg, PARIS (17<sup>e</sup>)

Tél. CARnot 38-91

Abonnement annuel: FRANCE, 2.000 fr.; UNION POSTAL, 2.400 fr. - Le numéro: FRANCE, 250 fr.; UNION POSTALE, 300 fr.  
Pour la Belgique: 325 F. B. - Chèques Postaux: M. Steyaert, 15, Rue Vonck, Bruxelles - C. Px 3-611-34

## COMPARAISON ENTRE LA FILTRATION LENTE ET LA FILTRATION RAPIDE

Rapport national français pour le sujet n° 7 au 3<sup>e</sup> Congrès de l'Association Internationale  
des Distributions d'Eau (Londres, 1955)

par P. GUINVARC'H

*Ingénieur en Chef au Service des Eaux de la ville de Paris*

et P. BLANCHARD

*Ingénieur Principal de l'Exploitation de la Compagnie Générale des Eaux*

### INTRODUCTION

Il est apparu dès l'abord aux co-rapporteurs que leur rapport en une matière aussi controversée ne devait pas être simplement le reflet de leurs opinions personnelles ou même de celles de quelques techniciens spécialisés dans la matière qu'ils auraient pu contacter directement, mais devait obligatoirement s'appuyer sur des données objectives et étendues résultant d'une consultation de tous les exploitants ou constructeurs de stations de filtration existant en France.

Un questionnaire très complet a donc été rédigé à l'intention de toutes les personnes susceptibles de procurer des données statistiques basées sur leur expérience pratique, et d'émettre un avis autorisé sur la question soulevée devant le Congrès.

A défaut de sources d'informations plus exhaustives, nous nous sommes adressés aux principaux constructeurs de matière de traitement des eaux et groupés au sein de la Chambre Syndicale des Entrepreneurs de l'Hygiène Publique

— 22 rue du Général Foy — Paris (8<sup>e</sup>) pour obtenir la liste des services d'eau exploitant au moins une station de leur construction ou de leur conception.

Ces constructeurs nous ont aimablement communiqué la liste de leurs références en précisant, comme nous le leur avons demandé, pour chacune des stations, la date de construction, le type (filtration lente ou filtration rapide) et le débit journalier nominal. Nous avons également prié directement ces constructeurs et les grandes Sociétés concessionnaires de bien vouloir, sur la base du questionnaire, nous communiquer les renseignements à leur disposition, leurs avis et leurs observations.

Sans doute échappaient donc ainsi à l'enquête les villes ayant fait construire des stations de filtration sur les plans d'Ingénieurs Conseils et par des constructeurs non spécialisés en matière de traitement des eaux. Mais, il ne nous semble pas que le pourcentage des exploitants qui n'auraient pas ainsi été touchés par notre enquête puisse être appréciable.

Il a été expédié 400 questionnaires environ. Le débit journalier nominal des stations de filtration intéressées s'élevait à 3.100.000 m<sup>3</sup>. Leur répartition statistique par type et par importance résulte des graphiques ci-joints.

LIBRARY  
International Reference  
for Community Water Supply

Il n'a été reçu que 47 réponses; toutes proviennent de Services d'eau, et aucune n'émane directement des Constructeurs (1)

\*\*\*  
A proprement parler, les résultats de cette enquête sont assez décevants si l'on considère les renseignements précis directement exploitables relevés dans les réponses à notre questionnaire.

Ces renseignements auraient dû naître essentiellement de la comparaison entre les deux tableaux concernant : les caractéristiques de l'eau brute traitée, d'une part, et le rendement de la filtration, d'autre part. Les précisions demandées sur la construction de la station de filtration elle-même n'avaient d'autre intérêt que de permettre l'exploitation des deux tableaux précédents, dans la mesure où il aurait été possible de rattacher certaines supériorités ou certaines déficiences par rapport à la moyenne des résultats recueillis, à un type spécial d'installation, une particularité constructive, ou un mode d'exploitation déterminé. Il aurait été, d'autre part, hautement souhaitable de recueillir pour chaque station une synthèse de ces renseignements préalablement faite par l'exploitant lui-même, sous forme de remarques critiques ou de thèmes de projets d'amélioration qui auraient pu prendre place dans les dernières pages du questionnaire.

S'il est vrai qu'il était impossible d'espérer une abondante moisson d'idées originales dans cette deuxième partie du questionnaire, car il est dans une certaine mesure compréhensible que les techniciens qualifiés se réservent l'avantage moral de publier dans des articles détaillés de la presse technique le fruit de leurs travaux et recherches, il semble qu'aucune considération de cet ordre, en ce qui concerne les techniciens de bonne volonté qui ont pris la peine de nous répondre ne pouvait freiner la communication des renseignements purement objectifs devant figurer aux tableaux de la première partie du questionnaire. On ne peut donc attribuer l'absence quasi complète de données sur de très nombreux points — et en particulier sur les rubriques figurant aux deux tableaux précédemment cités, — qu'à l'impossibilité où se trouvaient les exploitants de les fournir, faute de recueillir les observations

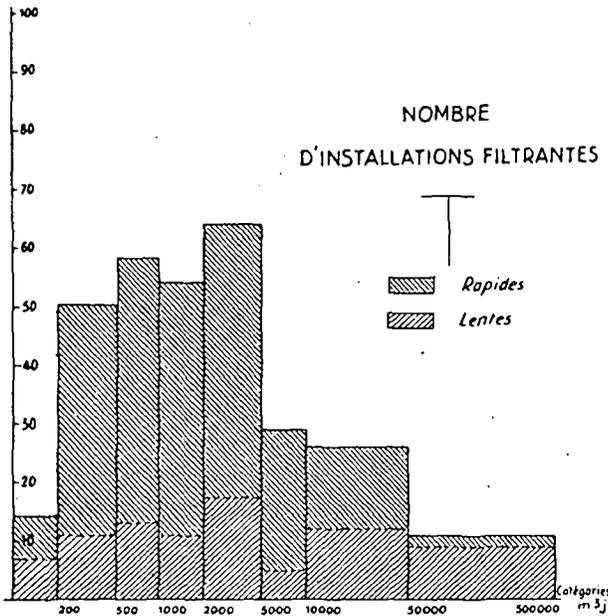


Fig. 1.

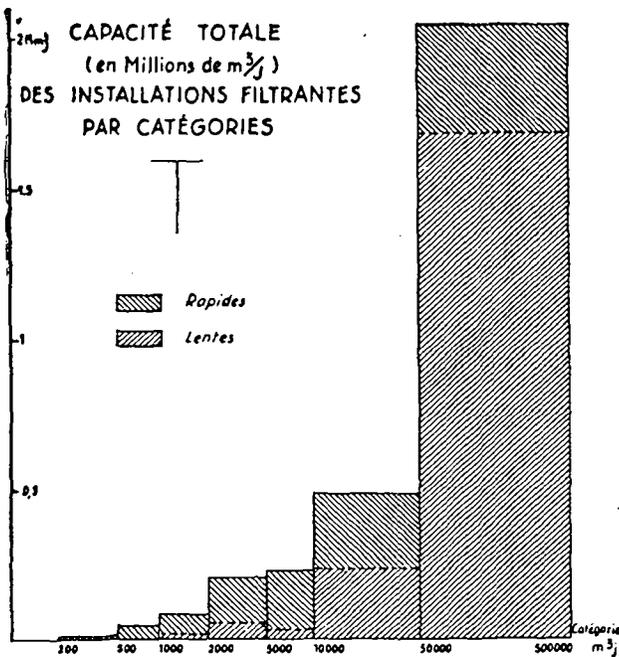


Fig. 2.

(1) Le questionnaire imprimé n'a pu être reproduit en raison de son importance. Sa consultation n'est pas indispensable à la compréhension du texte.

La deuxième partie de ce questionnaire dont il est question plus loin était intitulée: « VIII - Appréciations générales - IX - Observations complémentaires ». Le paragraphe VIII comprenait 3 sous-paragraphes:

- a) Avez-vous changé récemment de type de filtre et pour quelles raisons ?
- b) Quelles sont les limitations pratiques du type de filtres que vous exploitez ?
- c) Quelles sont les améliorations et particularités de vos installations par rapport à la technique traditionnelle ?  
Quelles sont les améliorations que vous souhaiteriez leur voir apporter ?

et résultats de mesures voulus, soit régulièrement, soit même à intervalles espacés. En effet, les réponses reçues se limitent pour la plupart à l'indication des renseignements matériels concernant la constitution de la station et encore sous la réserve que ces renseignements ne nécessitent pas de mesures, qui, d'une manière également très générale, ne doivent pas être pratiquées dans les stations en exploitation (débit d'eau de lavage, débit d'air de lavage, granulométrie des sables, etc...). Quelques renseignements fournis apparaissent comme étant sûrement de seconde main, parce que grossièrement inexacts : par exemple, sur un problème aussi simple en apparence que celui de la stérilisation, on constate des erreurs probables de l'ordre du décuple ou même du centuple dans les taux de traitement mentionnés.

Ainsi, à un autre point de vue, cette enquête s'est révélée extrêmement précieuse dans la mesure où elle corrobore un soupçon a priori des co-rapporteurs : seules sont capables d'exploiter leurs stations de traitement avec le maximum d'efficacité, sinon de sécurité, les grandes villes qui ont un personnel technique spécialisé important ou éventuellement les agglomérations groupées en vastes syndicats régionaux dotés des mêmes possibilités, de même que les villes ou les syndicats de communes qui confient l'exploitation de leurs services d'eau aux grandes Sociétés concessionnaires pouvant répartir la charge financière d'un personnel compétent sur l'exploitation d'un certain nombre d'installations.

En matière de distribution d'eau, comme en toute autre technique, les progrès foisonnant dans toutes les directions ne peuvent être assimilés que par des techniciens hautement spécialisés et seules, les collectivités importantes peuvent en bénéficier.

En définitive, compte tenu des remarques précédentes, les conclusions du présent rapport seront surtout fondées, d'une part, sur les rapports reçus des grandes villes et des principales Sociétés concessionnaires, et, d'autre part, dans une trop large mesure, au grand regret des co-rapporteurs, sur leur expérience personnelle. On notera cependant qu'ils peuvent directement s'appuyer sur les résultats constatés dans les stations de traitement de la Ville de Paris, et dans celles de la Banlieue de Paris et de Province exploitées par la Compagnie Générale des Eaux, — au total, 18 stations correspondant en bloc à une capacité nominale journalière de 1.650.000 m<sup>3</sup>, soit environ 75 % de la capacité totale des stations françaises pour lesquelles nous avons eu des renseignements, et près de 55 % de celle des stations auxquelles nous avons fait parvenir notre questionnaire.

Ce rapport comprendra trois parties :

La première traitera de généralités sur le problème de la filtration.

La seconde indiquera les caractéristiques principales des installations françaises de filtration.

La troisième sera consacrée à la comparaison des résultats obtenus suivant les procédés de filtration.

Enfin nous nous efforcerons de dégager une conclusion d'ensemble.

## PREMIERE PARTIE

### GÉNÉRALITÉS SUR LA FILTRATION

Dans cette première partie, nous nous proposons, tout d'abord, de définir ce que sont la filtration lente et la filtration rapide.

Puis nous examinerons quelles sont les caractéristiques des eaux à filtrer et quelles sont celles que l'on veut obtenir après traitement.

Enfin, nous chercherons à préciser le mécanisme général de la filtration des eaux.

#### I. — Définitions

Il nous semble indispensable, en premier lieu, de définir ce que l'on doit entendre par « filtration lente » et par « filtration rapide ».

Pour ce faire, il n'est pas inutile de rappeler que la filtration est un procédé purement physique de rétention des corps solides figurant dans un liquide, soit sur matières grenues, soit sur toiles, métalliques ou non, quoique dans ce dernier cas l'usage se crée de ne pas employer le terme : filtration mais de le remplacer par les termes : tamisage et microtamisage (en anglais : straining et microstraining).

De là, deux remarques en ce qui concerne la vitesse de la filtration.

En premier lieu, la vitesse de la filtration est liée au problème de l'élimination par lavage des saletés retenues par le filtre, en vue de sa remise en état. Et même, en réalité, la vitesse limite de filtration est toujours gouvernée par les impératifs de cette opération.

En effet, la durée du lavage du filtre comprend des temps morts (mise hors service, remise en service) qui, toutes choses égales par ailleurs, interrompent le fonctionnement du filtre d'autant plus que le rythme de ces lavages est accéléré par la vitesse de la filtration. Et si, pour la qualité d'eau brute la plus mauvaise que la station ait à traiter, la proportion des arrêts devient trop importante pour que le filtre demeure exploitable, la vitesse de filtration doit être considérée comme exagérée. Donc, les records de vitesse de filtration, qui ont un intérêt économique certain par la diminution des investissements qu'ils permettent, ne peuvent venir que d'améliorations dans les solutions

apportées au problème du lavage quand, et cela devrait toujours être bien entendu, on introduit sur les filtres comparés des eaux identiques qui doivent aussi en sortir identiques entre elles. Il n'est pas inutile de signaler que seuls jusqu'ici et dans une certaine mesure, les tambours filtrants sur toile échappent à cette limitation de vitesse imposée par le problème du lavage et ceci grâce à leur lavage continu en période difficile; il n'est d'ailleurs pas théoriquement impossible de concevoir un filtre à sable composé d'une même couche de ce matériau reposant sur un tapis roulant, lui-même poreux, susceptible de déplacer continûment le sable colmaté vers un appareil de lavage extérieur au filtre, où il pourrait être repris d'une manière également continue et redéposé à l'entrée du filtre en question.

En second lieu, la vitesse de la filtration ne peut retentir que sur la texture des saletés déposées dans le filtre, — texture qui peut être plus ou moins bénéfique.

Or, parmi les « matières » retenues par les filtres utilisés pour le traitement des eaux urbaines, il faut compter les algues microscopiques, d'une part, et les microbes ou bactéries, d'autre part. Les lois qui régissent la rétention de ces matières organiques vivantes ne diffèrent d'ailleurs pas de celles qui régissent la rétention des matières minérales. Ces lois ont été étudiées, en particulier, par Tomihisa Iwasaki, Directeur du Service municipal des Eaux de Tokio, qui a établi que chaque section horizontale de la couche filtrante élimine un même pourcentage de matières en suspension (article publié par le JAWWA, volume 29, n° 10, octobre 1937, pages 1591 à 1597).

Il en résulte que les microbes et les algues microscopiques, comme le reste, sont essentiellement retenus à la surface du filtre, quoique la pollution ait tendance à progresser en profondeur au fur et à mesure de l'évolution du cycle de filtration. Par les lois mêmes de la filtration, procédé purement physique, et quelle que soit la vitesse de filtration, il y a donc nécessairement, au cours de la mise en œuvre de cette opération dans le traitement d'une eau polluée, accumulation d'organismes microscopiques vivants à la surface du filtre, et la concurrence vitale commence inéluctablement à jouer dès le début du cycle de filtration et surtout au voisinage de la surface. Cet endroit est le siège de phénomènes biologiques qui se superposent aux autres mais qui pourraient d'ailleurs tout aussi bien s'effectuer ailleurs. Le temps est « relativement » indispensable à l'évolution de ces phénomènes. La filtration très lente permet donc à la pollution de s'éliminer au maximum grâce à la rétention mécanique des organismes vivants à laquelle s'ajoutent des processus biologiques de destruction jouant sans aucune accélération artificielle. Et encore cette affirmation ne peut-elle pas s'appliquer à la totalité des cas comme on le précisera plus loin.

Quand on ne connaissait aucun autre procédé pour venir à bout de la pollution, ce mode de traitement n'avait pas besoin d'être qualifié d'idéal puisqu'il était le seul possible. L'expérience avait bien montré que toute accélération de la vitesse de filtration au delà de 2 m 50 environ par jour risquait d'accroître fortement la probabilité d'apparition de B. Coli dans l'eau filtrée, ce test étant reconnu comme le plus pratique pour repérer une épuration insuffisante des eaux destinées à la consommation humaine. Les immenses filtres lents, d'un coût de premier établissement extrêmement élevé et d'exploitation pénible parce que nécessitant un personnel considérable pour le nettoyage des surfaces filtrantes, étaient un mal nécessaire. Mais quand on eut appris que la stérilisation était possible par voie chimique dans des conditions très économiques on chercha naturellement à s'en débarrasser à tout prix.

Comme la stérilisation chimique dispensait de la nécessité d'assurer aux phénomènes biologiques le facteur temps nécessaire à l'accomplissement suffisamment poussé de leur besogne épuratrice, il devenait possible d'envisager un bond considérable dans les vitesses de filtration praticables.

C'est alors que l'expérimentation dans cette voie, se heurtant aux problèmes du lavage, montra la nécessité de faire précéder les bassins de filtration accélérée d'autres traitements physico-chimiques d'ailleurs extrêmement complexes et qu'il fallut de nombreuses années pour mettre au point. On atteignait ainsi, principalement aux États-Unis, une étape historiquement très importante où un système de traitement essentiellement composé d'une coagulation-floculation et d'une filtration aux environs de 120 m par jour se généralisa rapidement. Il y eut ainsi face à face deux modes de traitement possibles, essentiellement différents, et la controverse, non encore close, put commencer entre la « filtration lente » et la « filtration rapide ».

Comme on le voit, dès l'origine, ces deux termes ont recouvert pour les initiés tout autre chose que ce qu'ils semblent vouloir réellement désigner : il s'agissait, en somme, de baptiser elliptiquement les deux modes de traitements extrêmement différents, en ce qui concerne essentiellement l'épuration bactériologique des eaux que peut permettre l'introduction du facteur temps dans les processus de filtration.

Mais ces dénominations symboliques sont bien souvent réduites, sciemment ou non, à leur acception naturelle, moyennant quoi, et tout naturellement alors elles se prêtent à la propagation de slogans parfaitement erronés dont nous relèverons les trois suivants pour bien montrer que la définition précise et préalable des traitements que l'on veut comparer est indispensable.

1° La « filtration lente » seule est une panacée; elle est utilisable quelle que soit la matière première eau brute; elle donnera toujours les meilleurs résultats.

2° La « filtration rapide » est imbattable économiquement. (On ajoute un peu de coagulant à l'eau brute en tête des filtres et on filtre le plus vite possible; on

une filtration à grande vitesse, précédée d'une coagulation-floculation-décantation des eaux brutes et suivie d'une stérilisation chimique des eaux filtrées.

La « filtration lente » ne comprend qu'une filtration très lente à une vitesse au plus égale à 2,5 m/jour... et rien d'autre.

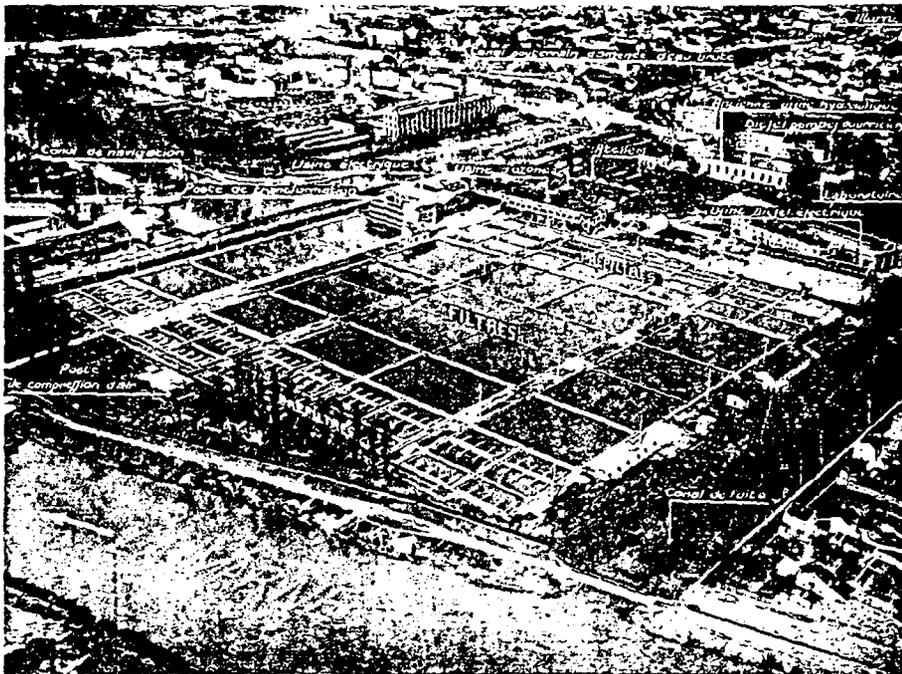


Fig. 3. — Ville de Paris - Usine de Saint-Maur (Photo Durandau)

oublie la floculation-décantation ou on l'escamote); c'est le mode de traitement idéal quand on est embarrassé par le choix difficile d'un terrain d'implantation important.

3° La « filtration rapide » est imbattable économiquement, mais en contre-partie elle donnera toujours une eau de faible qualité.

Ces slogans servent à justifier des positions aussi insoutenables les unes que les autres, mais qui ont eu et ont encore malheureusement des tenants souvent passionnés quand leurs mobiles sont d'abord commerciaux, ce qui a eu pour conséquence d'obscurcir l'aspect purement technique de la question.

Pour reprendre la comparaison entre « filtration lente » et « filtration rapide » sur des bases saines et objectives, il nous paraît donc utile de redéfinir comme suit, avec un minimum de précision, les deux modes de traitement que l'on désire comparer :

La « filtration rapide » est un mode d'épuration des eaux destinées à la distribution publique qui comporte

## II. — Caractéristiques des eaux à filtrer

Les eaux à filtrer sont très généralement des eaux de rivière. C'est donc uniquement de ces eaux qu'il sera question par la suite.

Nous rappelons, d'autre part, que, dans les rapports que nous avons reçus, les indications concernant les caractéristiques des eaux brutes de rivière sont trop souvent incomplètes.

Nous estimons cependant que ces mesures sont indispensables, et nous pensons qu'il y aurait lieu d'insister sur cette nécessité.

Quelles sont donc les caractéristiques à mesurer?

### 1° Caractéristiques des eaux brutes de rivière

Les caractéristiques à mesurer nous paraissent être principalement les suivantes :

- Turbidité ou limpidité ou opalescence;
- Pouvoir colmatant;
- Résistivité électrique;

- Alcalinité;
- Degré hydrotimétrique;
- pH;
- Teneur en matières organiques;
- Teneur en fer et en manganèse;
- Teneur en B. Coli.

Il serait hors de notre sujet de traiter des appareils à utiliser, des méthodes d'analyses et de la présentation des résultats.

Nous pensons cependant devoir signaler tout particulièrement l'intérêt que présentent

- les mesures de turbidité, celles-ci étant suivant les cas :
  - des mesures de transparence, par la méthode de l'assiette;
  - des mesures de turbidité proprement dites, à l'aide de l'appareil Dienert ou de l'appareil Dratz-Gomella qui a retenu l'attention générale lors de sa présentation au Congrès de Paris de 1952 de l'A. I. D. E.;
  - des mesures de matières en suspension.
- les mesures de pouvoir colmatant effectuées notamment avec l'appareil Beaudrey.

## 2° Classification des eaux de rivière

Il ressort des renseignements fournis que l'on peut distinguer deux catégories d'eaux de rivière à filtrer, selon que l'on envisage

soit la nature des terrains où coulent les rivières, soit l'état des corps contenus dans l'eau.

La première distinction est traditionnelle. Comme Imbeaux le rappelle, Plin, déjà, écrivait que les caractéristiques des eaux dépendent de celles des terrains où elles coulent. Et l'on distingue, de ce point de vue, les eaux des régions calcaires et celles des régions granitiques ou schisteuses.

La distinction des eaux à filtrer selon l'état des corps contenus — corps dissous, corps en suspension, corps à l'état colloïdal — nous paraît toutefois mieux adaptée à l'objet de notre étude.

### a) Classification des eaux à filtrer selon la nature des terrains traversés.

Le tableau ci-après résume les caractéristiques moyennes des eaux provenant des régions calcaires et des régions granitiques ou schisteuses, en dehors des périodes de crues exceptionnelles.

On observe que les eaux de rivière des régions calcaires sont beaucoup plus minéralisées que celles des rivières des régions granitiques. Leur alcalinité est également bien plus élevée.

CARACTÉRISTIQUES générales	EAUX de rivière des régions calcaires	EAUX de rivière des régions granitiques ou schisteuses
Turbidité à l'assiette (transparence en cm) . . . . .	10 à 250	10 à 250
en gouttes de mastic (dans 50 cm <sup>3</sup> ) . . . . .	20 à 250	20 à 250
Pouvoir colmatant Beaudrey	1 à 50	
Coloration . . . . .	nulle en général	jaune rougeâtre
Résistivité électrique (en ohms à 18°) . . . . .	2.400 à 3.000	9.000 à 12.000
Alcalinité en CaO (en mg/l.)	100 à 130	10 à 30
Dureté hydrotimétrique (méthode de Boutron et Boudet) . . . . .	16 à 30	3 à 6
Teneur en matières organiques représentées par l'oxygène emprunté au permanganate de potasse en milieu alcalin (en mg/l.) . . . . .	0,5 à 4	2 à 20
Teneur en fer (en mg/l.) . .	max. 0,1	0,1 à 1
pH . . . . .	7,6 à 8,4	5,5 à 7,5
Nombre de B. Coli par litre . . . . .	élevé	élevé
Algues . . . . .	et variable gênantes pendant la belle saison	et variable peu nombreuses et peu gênantes

Tableau I

La turbidité des eaux de rivière de chacune des deux régions semble varier dans les mêmes limites, mais cela tient à l'influence des crues. En fait, les eaux des régions granitiques ou schisteuses sont en général limpides tandis que celles des régions calcaires contiennent davantage de matières en suspension et sont normalement plus troubles.

Enfin, les eaux de rivière des régions calcaires sont habituellement sans couleur, tandis que celles des régions granitiques ou schisteuses sont toujours colorées, le plus souvent en jaune rougeâtre.

### b) Classification des eaux à filtrer selon l'état des corps contenus dans ces eaux.

Les corps contenus dans les eaux peuvent s'y trouver sous trois états :

- à l'état dissous,
- à l'état colloïdal,
- à l'état de suspension.

Bien que les limites entre ces trois états ne soient pas extrêmement nettes, on peut admettre que les corps dissous sont à l'état de molécules ou d'ions dont les dimensions varient entre 0,1 et 2  $\mu$ , que les corps à l'état colloïdal se présentent sous forme de granules dont les dimensions varient entre 2 et 200  $\mu$ , que les corps à l'état de suspension constituent des particules dont les dimensions sont supérieures à 200  $\mu$ . (Précis de Chimie-Physique de M. Berthoud).

granitiques et schisteuses. En outre, les microorganismes et la respiration des plantes produisent une quantité importante de  $\text{CO}_2$ , qui peut atteindre 100 à 150 mg par kilogramme de bonne terre végétale et par jour.

« L'eau qui ruisselle à la surface du sol, ou qui pénètre dans la terre végétale, se charge fortement de gaz carbonique. Or une telle eau a la propriété de former avec l'argile et les matières organiques, des solutions colloïdales.

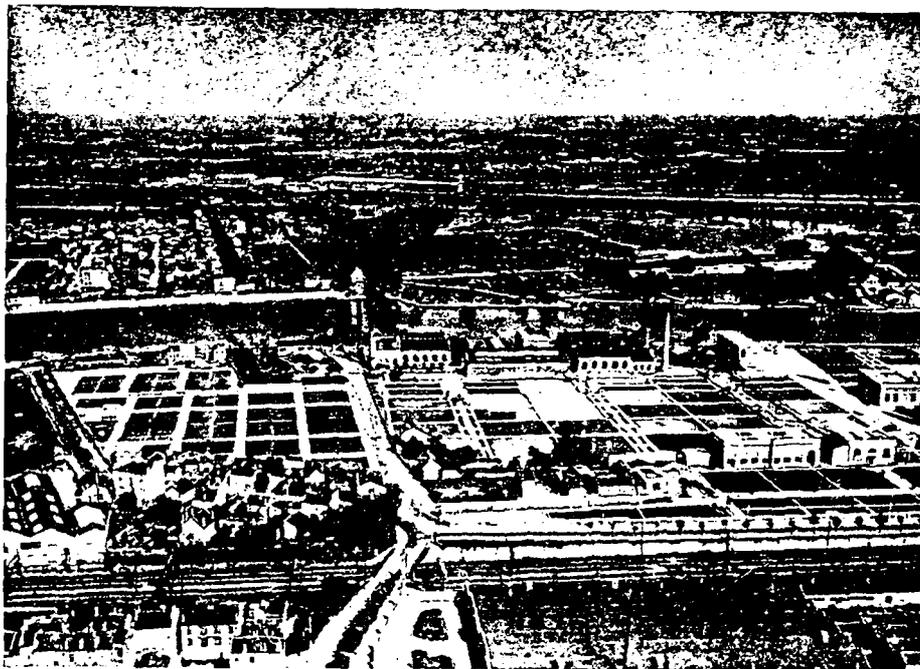


Fig. 4.7.— Banlieue de Paris - Usine de Choisy-le-Roi (Photo « Les prises de vues aériennes »)

Les corps en suspension peuvent être retenus dans la masse filtrante par un simple mécanisme de rétention.

Par contre, les corps dissous et les corps à l'état colloïdal traversent la masse filtrante sans modification appréciable et leur rétention exige un traitement préalable de floculation de l'eau à filtrer.

Cette différenciation nous paraît fondamentale. Elle n'est, du reste, pas contradictoire avec celle qui résulte de la considération de l'origine des eaux.

On constate, en effet, que, d'une manière générale, les eaux des régions calcaires contiennent des corps en suspension tandis que celles des régions granitiques et schisteuses contiennent des corps à l'état colloïdal.

M. Cointement (Rennes) explique de la façon suivante les différences entre ces deux natures d'eau :

« Le sol est généralement recouvert d'une couche d'humus qui est particulièrement acide dans les régions

« Dans les régions granitiques ou schisteuses, où le sous-sol ne contient pas de calcaire, le gaz carbonique dissous par l'eau, au cours de son contact avec les couches superficielles, ne peut donc être neutralisé. Il en résulte que l'eau des sources ou des nappes souterraines de ces régions a un pH assez faible (5,5 à 6) et qu'elle peut contenir jusqu'à 80 à 100 mg de  $\text{CO}_2$  par litre.

« Les sources qui jaillissent de ces terrains, donnent naissance à des ruisseaux dont la pente est souvent importante. L'agitation étant un moyen d'élimination du gaz carbonique dissous, l'eau de ces ruisseaux perd rapidement une bonne partie du  $\text{CO}_2$  et son pH augmente au fur et à mesure qu'on s'éloigne des sources. Finalement son pH est généralement compris entre 6, 8 et 7,2 mais son alcalinité reste faible, puisqu'il n'y a pas, dans le sol, de calcaire susceptible de l'augmenter.

« Il faut aussi noter que l'alcalinité de l'eau de ces ruisseaux varie d'une façon relativement importante

dans le cours d'une année. Elle varie dans le même sens que la température de l'eau.

« La coloration de l'eau s'explique également par l'absence de calcaire car le  $\text{CO}_2$  qu'elle contient lui permet de se charger d'argile et de matières organiques à l'état colloïdal, qu'aucun coagulant naturel ne fait flocculer.

« Enfin, il faut ajouter que très fréquemment les eaux des régions granitiques contiennent de petites quantités de sels de fer, souvent sous forme de composés organiques, qui accentuent la coloration; ces sels sont stables puisqu'on est en milieu acide.

« Dans les régions calcaires, les phénomènes se passent d'une façon très différente. L'eau chargée de gaz carbonique produit par la végétation ou les micro-organismes, entre en contact avec le calcaire, qui est attaqué. Il se forme du bi-carbonate de calcium soluble et la réaction peut aller jusqu'à la saturation.

« Les alcalinités des eaux de source ou des eaux de rivière des régions calcaires sont donc élevées. Souvent elles dépassent 100 mg par litre. Dans les régions calcaires, l'argile contenue dans la couche arable peut aussi être attaquée, mais la solution colloïdale formée se trouve rapidement en contact avec le calcaire des couches inférieures, qui fait immédiatement coaguler l'argile.

« Le même phénomène se produit avec les sels de fer.

« Les eaux des sources, qui jaillissent des terrains calcaires, sont donc particulièrement limpides et incolores. »

L'eau des rivières, auxquelles elles donnent naissance, n'est trouble qu'en période de crue. La turbidité résulte alors surtout des matières en suspension provenant de l'action mécanique de l'eau sur des roches généralement assez tendres, mais on observe qu'elle est aussi due, pour partie, à la présence dans l'eau de particules colloïdales.

Il ressort de cette dernière observation que la distinction que nous avons faite entre les eaux des régions calcaires contenant des corps en suspension et les eaux des régions granitiques contenant des corps à l'état colloïdal n'est pas absolue, et qu'une eau calcaire peut également contenir, en période de crue, des corps à l'état colloïdal.

C'est notamment le cas des eaux de la Seine et de la Marne qui ne renferment habituellement que des corps en suspension mais qui, d'après les mesures faites dans les établissements filtrants de Paris entre 1937 et 1950, contiennent, en outre, en moyenne 20 jours par an, une notable proportion de particules colloïdales.

### 3° Conclusion

En somme, de l'examen des caractéristiques des eaux de rivière à filtrer, il ressort que celles-ci se répartissent en deux catégories :

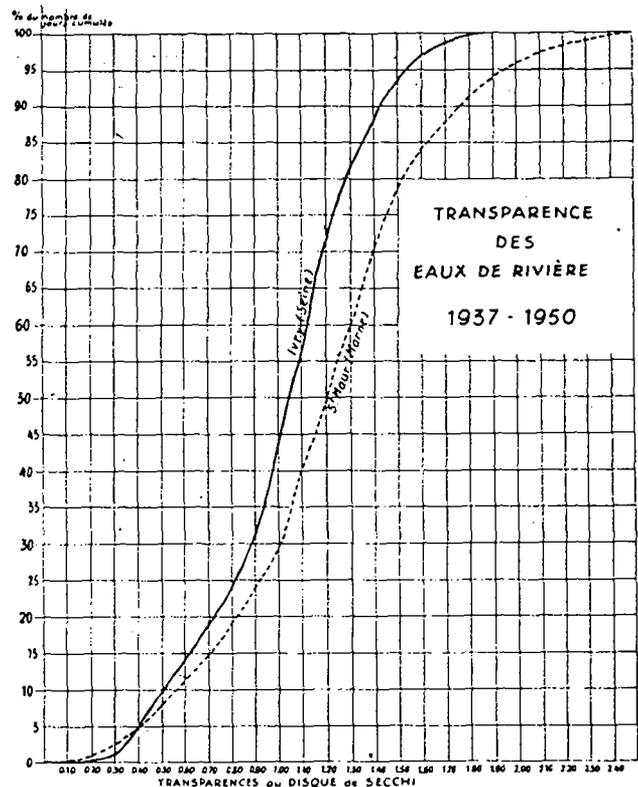


Fig. 5

— celles qui contiennent des corps à l'état colloïdal et qui proviennent des régions granitiques ou schisteuses.

— celles qui contiennent des corps en suspension et qui proviennent des régions calcaires.

Les premières, selon la définition que nous avons proposée du mode de filtration, ne peuvent être épurées par une « filtration lente » et nécessitent une « filtration rapide ».

Les secondes, seules, peuvent relever d'une « filtration lente », et encore faut-il s'attendre, dans ce cas, à des difficultés de traitement intermittentes, puisqu'il arrive, comme cela vient d'être dit, que ces eaux contiennent en période de crue des corps à l'état colloïdal.

Le mode de filtration à adopter pour épurer une eau de rivière dépend donc, non de considérations a priori, mais essentiellement des valeurs des caractéristiques de cette eau.

Or, celles-ci sont susceptibles de varier dans le temps. Il s'ensuit qu'aucune installation de filtration d'eaux de rivière ne devrait être projetée sans qu'aient été relevées régulièrement, et au moins pendant un an, les valeurs de ses principales caractéristiques. L'expérience montre d'ailleurs que les périodes de difficultés maxima (turbidité colloïdale élevée, pollutions massives, poussées d'algues catastrophiques, paroxysmes de mauvais

2° Les mauvais goûts et les mauvaises odeurs;

3° Les risques que la consommation de l'eau en question peut faire courir à la santé publique : ces risques résultent de pollutions organiques ou minérales, ces dernières se traduisant par une composition chimique des corps dissous non satisfaisante.

On peut, en outre, ajouter à ces trois catégories de défauts la présence d'algues microscopiques, qui sont

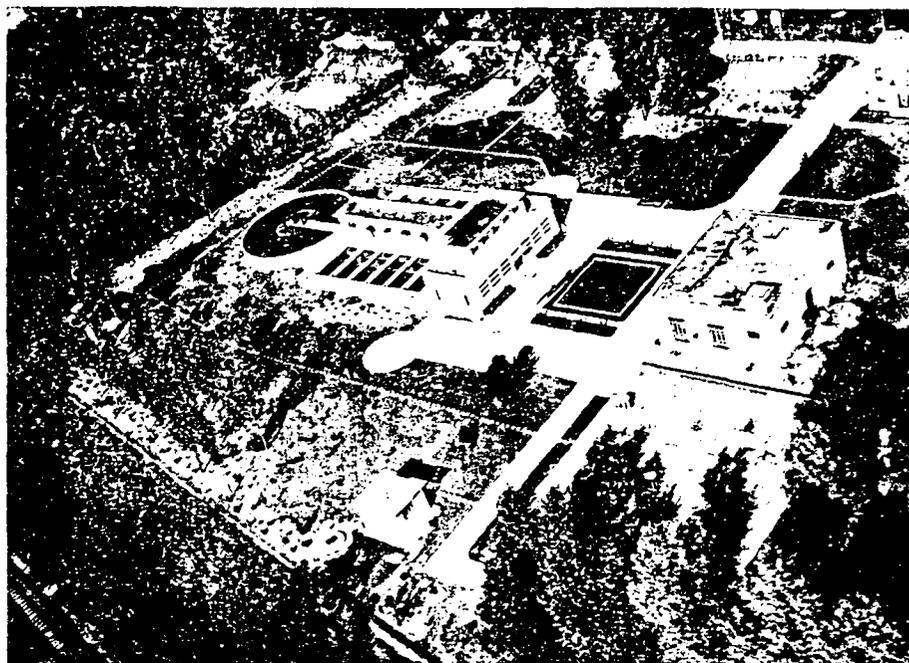


Fig. 6. — Viry-Chatillon

goûts) se produisent d'une manière très irrégulière, selon des cycles pluriannuels, comme les grandes crues et les sécheresses prolongées auxquelles elles font cortège. *Un projet basé sur une seule année de relevés statistiques présente donc un risque, qui doit être compensé par des estimations pessimistes des caractéristiques les plus défavorables de l'eau à traiter tirées de comparaisons avec des eaux analogues suivies sur de plus longues périodes.*

### III. — Caractéristiques des eaux traitées

Quelles sont les caractéristiques désirables pour une eau de distribution publique ?

Énumérons, auparavant, les défauts possibles d'une eau brute. Ces défauts peuvent se classer en trois catégories :

1° Les défauts d'aspect, qui sont la turbidité et la coloration;

quelquefois la source de mauvais goûts, mais qui, en tout cas, sont une source de déboires intarissable pour l'exploitant de la station filtrante lui-même.

Une étude objective de la question doit négliger la tradition historique qui a conduit à s'occuper d'abord et presque uniquement de l'aspect, généralement d'ailleurs sous l'angle de la turbidité, ensuite, quelquefois, des mauvais goûts et des mauvaises odeurs, et, enfin seulement, de la pollution, sans doute parce que sous sa forme organique elle était, à l'origine, la moins accessible au contrôle, à défaut duquel on était conduit un peu naïvement à supposer que la disparition de la turbidité allait obligatoirement de pair avec la disparition de tous risques pour la santé publique.

Pour notre part, s'il nous fallait établir une hiérarchie dans l'importance ou dans la nocivité des défauts de l'eau brute à corriger, nous serions plutôt tentés d'adopter l'ordre inverse de l'ordre historique. Cette position doit cependant être tempérée par le fait que la

présence d'une turbidité élevée, ou de mauvais goûts, ou de mauvaises odeurs, manifeste certainement la présence dans l'eau de substances étrangères qui peuvent avoir une action sur la santé publique, quoique à un degré infiniment moindre que les pollutions de nature animale ou humaine.

Remarquons, incidemment, que la correction de la composition chimique exige un traitement chimique qui, comme tel, se trouve, à coup sûr, en dehors de notre propos. La filtration, procédé essentiellement physique, n'intervient guère dans ce cas qu'en fin de traitement, et n'a généralement pas d'autre rôle que celui d'un processus de clarification. Par exemple, dans le cas d'une eau brute contenant du fer sous une forme facilement oxydable, le traitement de base est une oxydation, et il est nécessaire d'installer un filtre pour arrêter les flocons d'oxyde de fer. Par raison d'économie, la vitesse de filtration doit être la plus grande possible : cette vitesse ne peut être matière qu'à controverse mineure car elle n'intervient pas et ne prétend pas intervenir sur le reste du traitement. Là, il n'est pas question de « filtration lente » ou de « filtration rapide » : il y a seulement filtration plus ou moins rapide.

Par ailleurs, nous noterons que les récentes « Instructions générales relatives aux eaux d'alimentation », approuvées les 14 juin et 12 juillet 1954 par le Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France, indiquent « qu'il est désirable de rechercher pour une eau potable : la limpidité, la fraîcheur et l'absence de couleur, d'odeur et de saveur désagréables ». Elles précisent par ailleurs les points suivants :

— « une eau est considérée comme limpide lorsque sa turbidité mesurée selon la technique de Dienert et Guillard est inférieure à la turbidité créée dans 50 cm<sup>3</sup> d'eau optiquement vide par 5 gouttes de solution alcoolique de gomme mastic à 1 pour 1000 ».

— « une eau potable doit être pauvre en matières organiques ».

— « une eau bactériologiquement pure ne contient aucune des espèces microbiennes » ci-après : « Escherichia Coli, Streptococcus foecalis (entérocoque) et Clostridium perfringens ».

Les caractéristiques que nous considérerons pour la comparaison des eaux obtenues par « filtration lente » et par « filtration rapide » seront, en conséquence, les suivantes :

- la turbidité ou la limpidité ou l'opalescence,
- la couleur,
- l'odeur,
- la saveur,
- la teneur en matières organiques,
- la teneur en B. Coli.

Ainsi que nous l'avons déjà indiqué en énumérant les caractéristiques à mesurer sur l'eau brute, il ne saurait être question dans ce rapport de traiter des méthodes de mesure de chacune d'elles.

Nous nous bornerons à constater que si, dans la plupart des réponses à notre questionnaire, les caractéristiques des eaux filtrées sont, en général mieux connues que celles des eaux brutes, il n'apparaît pas qu'elles soient toujours l'objet d'une détermination systématique.

Il semble que, là encore, il conviendrait d'insister sur la nécessité de cette détermination.

#### IV. — Étude expérimentale du mécanisme de la filtration sur sable des eaux brutes de rivière

Après avoir déterminé les caractéristiques des eaux à examiner avant et après filtration, il nous paraît utile de chercher à préciser le mécanisme même de la filtration.

Autrement dit, étant admis que le plus grand nombre des particules colloïdales traverse la couche filtrante sans y être retenu, il nous semble qu'il y a intérêt à étudier, d'une manière générale, le mécanisme de la rétention dans une couche filtrante des particules non colloïdales, — mécanisme qui doit être le même quelle que soit l'origine de ces particules : corps naturellement en suspension dans l'eau ou floc obtenu par coagulation, et qui présente donc un grand intérêt, qu'il s'agisse de « filtration lente » ou de « filtration rapide ».

Nous relaterons, à ce sujet, les résultats des expériences qui ont été faites par la Compagnie Générale des Eaux dans sa station d'essais de la Banlieue de Paris, à partir d'eaux de Seine.

Le milieu filtrant utilisé était du sable de Loire quartzueux dont les caractéristiques — taille effective et coefficient d'uniformité — ont été déterminées par la méthode HAZEN à partir des couches granulométriques obtenues avec des tamis présentant un vide de mailles en mm de : 0,197; 0,240; 0,310; 0,400; 0,490; 0,610; 0,760; 0,990; 1,240; 1,650; 2,100; 2,400; 3,170; 3,830.

Nous rappelons par ailleurs que l'eau de Seine est une eau alcaline, et ne contenant normalement pas de particules colloïdales. Cette eau a une teneur en matières organiques en général faible et une turbidité plus ou moins élevée, mais elle est habituellement incolore.

Une première série d'expériences a été effectuée en alimentant directement en eau brute de Seine des

filtres tubulaires. D'autres expériences ont été également faites à partir, d'une part, d'eaux brutes flocculées et décantées et, d'autre part, d'eaux brutes simplement décantées.

Dans chacune de ces séries d'expériences, les variations observées ont été de même sens.



Fig. 7. — Station d'essais de Boulogne-sur-Seine  
Filtres tubulaires (Photo Tschaegele-Appert)

Étant donné toutefois que ces variations sont d'autant plus nettes que les eaux arrivant sur les filtres sont plus chargées en matières en suspension et sont filtrées à plus grande vitesse, nous n'indiquerons que les observations faites lorsque les filtres sont directement alimentés en eau brute et fonctionnent à des vitesses comprises entre 2 et 6 m/h.

Sans doute, dans ce cas, arrive-t-il que les valeurs absolues des caractéristiques des eaux filtrées soient supérieures aux normes exigées. Mais il ne faut pas perdre de vue que l'objet de cette étude est moins l'obtention de caractéristiques déterminées pour les eaux filtrées que le mécanisme de la rétention des particules non colloïdales dans la masse filtrante.

Au surplus, nous indiquons qu'au cours de l'année 1954 ces mêmes filtres tubulaires, alimentés directement en eau brute de Seine et fonctionnant dans les mêmes conditions générales ont donné, pendant plusieurs mois consécutifs, une eau filtrée ayant, en particulier, une opalescence inférieure à 5 gouttes de mastic. Nous signalons, en outre, que si l'opalescence de l'eau filtrée tendait à dépasser cette valeur, il suffisait, pour la maintenir au-dessous, de faire subir à l'eau brute, avant filtration, soit une simple décanta-

tion, soit un traitement de floculation suivi d'une décantation.

Ceci étant précisé, nous examinerons comment les caractéristiques des eaux filtrées sont influencées par la variation relative des facteurs suivants :

- température;
- caractéristiques du sable:
  - granulométrie;
  - épaisseur;
- vitesse de filtration;
- nombre des filtrations successives.

#### A — INFLUENCE DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU BRUTE

##### 1) Données:

- vitesse de filtration : 6 m/h;
- caractéristiques du sable :
  - épaisseur : 60 cm;
  - distribution : homogène (coefficient d'uniformité : 1,26);
  - granulométrie : taille effective : 0,54 mm.

##### 2) Conclusions:

On constate qu'une élévation de température de l'eau brute tend à améliorer l'efficacité de la filtration. Toutes choses égales par ailleurs, il y a augmentation des pourcentages de réduction de l'opalescence, de la teneur en matières organiques et de la teneur en B. Coli de l'eau brute.

On observe, d'autre part, un minimum de durée des cycles de filtration quand l'eau brute est au voisinage de 10°.

Cependant, dans l'ensemble, les résultats manquent de netteté. Cela tient probablement au fait que le facteur « température de l'eau » ne peut pas être nettement isolé du facteur « composition de l'eau ».

#### B — INFLUENCE DE LA GRANULOMÉTRIE DU SABLE

##### 1) Données :

- Durée des essais : 1<sup>er</sup> septembre-30 novembre 1952;
- Vitesse de filtration : 6 m/h;
- Caractéristiques du sable :
  - épaisseur : 60 cm;

- distribution : aussi homogène que possible (coefficient d'uniformité sensiblement constant et compris entre 1,25 et 1,32);
- Caractéristiques moyennes de l'eau brute :
  - opalescence : 119 gouttes de mastic;
  - teneur en matières organiques : 2,2 mg/l;
  - teneur en B. Coli : 136.500/litre.

b) La durée du cycle de filtration est sensiblement donnée par la relation :

$$T = KD^n$$

dans laquelle :

- T = durée en heures du cycle de filtration;
- D = taille effective du sable en mm;
- K = constante dépendant du pouvoir colmatant de l'eau entrante;
- n = voisin de 1,25.

## 2) Résultats généraux observés sur l'eau effluente et analyse de ces résultats: Tableau 2

Granulométrie du sable					
Coefficient d'uniformité.	1,30	1,32	1,26	1,26	1,25
Diamètre max. du grain en mm. . . . .	0,31	0,49	0,99	1,24	2,40
Diamètre minim. du grain en mm. . . . .	0,20	0,31	0,49	0,61	1,24
Taille effective en mm. . . . .	0,21	0,33	0,54	0,70	1,78
Opalescence en gouttes de mastic. . . . .	14/15	10	9	16	19/20
Teneur en matières organiques en mg/l. . . . .	1,35	1,50	1,31	1,43	1,51
Teneur en B. Coli par litre. . . . .	22.500	20.700	12.660	11.500	17.300
% de réduction par rapport à l'eau entrante :					
Opalescence . . . . .	87,4	90,9	92,4	86,5	83,2
Teneur en M. O. . . . .	38,7	31,8	40,5	35,0	31,4
Teneur en B. Coli. . . . .	83,5	84,8	90,7	91,6	87,3
Durée moyenne du cycle de filtration. . . . .	4h50	10h10	19h40	41h25	58h35

a) Considérées en valeurs absolues, les opalescences, les teneurs en matières organiques, et les teneurs en B. Coli des eaux filtrées passent par un minimum lorsque la taille effective du sable est comprise entre 0,5 et 0,7 mm.

En d'autres termes, les pourcentages de réduction des opalescences, des teneurs en matières organiques et des teneurs en B. Coli des eaux brutes passent par un maximum lorsque la taille effective du sable est comprise entre 0,5 et 0,7 mm.

Il semble donc qu'il existe pour une eau déterminée une granulométrie optima de sable.

## C — INFLUENCE DE L'ÉPAISSEUR DU SABLE

### 1) Données :

- Durée des essais: 28 octobre 1952-10 juillet 1953;
- Vitesse de filtration : 6 m/h;
- Caractéristiques du sable :
  - distribution : homogène (coefficient d'uniformité = 1,26);
  - granulométrie : Taille effective : 0,54 mm;
  - ø maximum : 0,99 mm;
  - ø minimum : 0,49 mm

- Caractéristiques moyennes de l'eau brute : aussi bien aux êtres microscopiques qu'aux corps inertes en suspension.
- Opalescence : 73 gouttes de mastic;
- Teneur en matières organiques : 2,16 mg/l;
- Teneur en B. Coli : 154.500/litre.
- d) Comme il était à prévoir, la perte de charge initiale est sensiblement proportionnelle à l'épaisseur du sable.

2) Résultats généraux observés sur l'eau effluente et analyse de ces résultats: Tableau 3

Épaisseur de sable en cm. . . . .	30	60	97
Opalescence en gouttes de mastic. . . . .	13/14	11/12	8
Teneur en matières organiques en mg/l. . . . .	1,72	1,72	1,65
Teneur en B. Coli par litre. . . . .	41.600	42.600	43.500
% de réduction par rapport à l'eau entrante :			
Opalescence. . . . .	81,5	84,2	94,5
Teneur en M. O. . . . .	20,3	20,3	23,6
Teneur en B. Coli. . . . .	73,0	72,4	71,8
Durée moyenne du cycle de filtration . . . . .	12 h	12 h 30	15 h 15
Perte de charge initiale en mm. . . . .	23,6	30,8	40

a) Toutes choses égales par ailleurs, quand l'épaisseur du sable passe de 30 à 60 cm, on n'observe pas une variation sensible de l'opalescence et de la teneur en matières organiques des eaux filtrées, non plus que de la durée des cycles de filtration.

Cependant, si l'épaisseur du sable passe de 60 à 97 cm, on obtient une amélioration appréciable de l'opalescence des eaux filtrées, tandis que le résultat est moins net en ce qui concerne leur teneur en matières organiques.

b) Bien que cela paraisse peu logique, la durée des cycles de filtration semble varier dans le même sens que l'épaisseur de la couche de sable.

c) Il apparaît que la teneur en B. Coli des eaux filtrées est pratiquement indépendante de l'épaisseur de la couche de sable.

Ce résultat atteste la prépondérance de l'épuration bactériologique superficielle, — prépondérance qui résulte, en premier lieu, comme nous l'avons déjà indiqué, des lois mêmes de la filtration applicables

D — INFLUENCE DE LA VITESSE DE FILTRATION.

1) Données :

— Durée des essais : 1<sup>er</sup> décembre 1952-10 juillet 1953;

— Caractéristiques du sable :

— distribution : hétérogène (coefficient d'uniformité : 3,50);

— granulométrie : Taille effective : 0,50 mm;  
 $\varnothing$  maximum : 3,80 mm;  
 $\varnothing$  minimum : 0,24 mm.

— Épaisseur : 60 cm.

— Caractéristiques moyennes de l'eau brute :

— Opalescence : 62 gouttes de mastic;

— Teneur en matières organiques : 2,16 mg/l;

— Teneur en B. Coli : 158.800/litre.

2) Résultats généraux observés sur l'eau effluente et analyse de ces résultats: Tableau 4

Vitesse de filtration en m/h. . . . .	2	6
Opalescence en gouttes de mastic. . . . .	8/9	12
Teneur en matières organiques en mg/l. . . . .	1,75	1,84
Teneur en B. Coli par litre. . . . .	29.200	40.900
% de réduction par rapport à l'eau entrante.		
Opalescence. . . . .	86,2	80,6
Teneur en M. O. . . . .	19,9	14,8
Teneur en B. Coli . . . . .	81,6	74,2
Perte de charge initiale en cm. . . . .	8	22,5

a) Variation de l'opalescence, de la teneur en matières organiques et de la teneur en B. Coli des eaux filtrées.

Toutes choses égales par ailleurs, si la vitesse de filtration passe de 2 m/h à 6 m/h, on constate une augmentation de l'opalescence, de la teneur en matières organiques et de la teneur en B. Coli des eaux filtrées.

Exprimée en valeur absolue, cette augmentation est de l'ordre de 40 à 50 % en ce qui concerne l'opalescence et la teneur en B. Coli, et de 6 % en ce qui concerne la teneur en matières organiques.

Exprimée en pourcentage de réduction par rapport à l'eau brute, la perte correspondante est de 5 à 8 % pour chacune des trois caractéristiques considérées.

En somme, la variation de ces caractéristiques est relativement faible compte tenu du triplement de la vitesse de filtration.

Mais il faut observer que cette variation est fonction de la zone des vitesses considérées.

En effet, si l'on se reporte à des observations faites également dans la banlieue de Paris, on constate que :

Vitesse de filtration en m/h. . . . .	0,20	0,75	2	6	12
% d'élimination des B. Coli. . . . .	≥ 99	98,1	81,6	74,2	73,4

Tableau 5

On en conclut que l'épuration bactériologique de l'eau par filtration sur sable décroît très rapidement quand la vitesse de filtration croît de 0,75 m/h à

2 m/h, et qu'elle décroît ensuite beaucoup plus lentement quand la vitesse de filtration dépasse 2 m/h, tendant asymptotiquement vers un minimum de l'ordre de 70 %.

Ce mode de variation assez particulier du pourcentage d'élimination des B. Coli en fonction de la vitesse de filtration ne peut s'interpréter autrement que par l'intervention de phénomènes biologiques dépendant du temps de passage de l'eau à travers la couche superficielle, où s'accumule, en accord avec les lois de la filtration, une grande partie des êtres vivants contenus dans l'eau brute.

L'efficacité globale de la filtration dépend donc de l'efficacité de deux mécanismes d'élimination différents : la rétention mécanique et la concurrence vitale, qui suivent leurs lois propres, bien que le second dépende du premier. Par cette dépendance, la vitesse de filtration est un facteur capital de l'efficacité bactériologique globale, mais la relation ne peut avoir une formule simple.

En tous cas, il est à remarquer que si l'épuration bactériologique est d'autant plus importante que le temps de contact des microbes entre eux est plus élevé, elle n'en est pas pour autant négligeable dans le cas des grandes vitesses de filtration.

b) Variation de la durée des cycles de filtration.

Toutes choses égales par ailleurs, on observe une très nette réduction de la durée des cycles de filtration quand la vitesse de filtration passe de 2 m/h à 6 m/h.

On a sensiblement la formule ci-après, indiqués par BAYLIS :

$$T = \frac{K_1}{V^{1,5}}$$

dans laquelle :

T = durée en heures du cycle de filtration;

K<sub>1</sub> = coefficient dépendant du pouvoir colmatant de l'eau;

V = vitesse de filtration en m/h.

c) Variation de la perte de charge initiale.

On vérifie, en première approximation, que la perte de charge initiale d'un filtre est proportionnelle à la vitesse de filtration, quand cette vitesse est comprise entre 2 et 6 m/h, — ce qui montre que, pour ces vitesses, le régime d'écoulement est laminaire.

E — INFLUENCE DU NOMBRE DES FILTRATIONS.

1) Données :

- Durée des essais :  
Première série : 1<sup>er</sup> septembre-2 novembre 1952;  
Seconde série : 2 novembre 1952-10 janvier 1953;
- Vitesses de filtration :

Simple filtration : 6 m/h.

double filtration :

1<sup>re</sup> filtration : 6 m/h; 2<sup>e</sup> filtration : 6 et 3 m/h.

— Épaisseur du sable :

Simple filtration : 1 couche de 97 cm; double filtration : 2 couches de 60 cm.

— caractéristiques du sable :

	DIAMÈTRE DU GRAIN		TAILLE effective en mm.	COEFFICIENT d'uniformité
	minimum en mm.	maximum en mm.		
Simple filtration . .	0,49	0,99	0,54	1,26
Double filtration				
Première . . . .	0,61	1,24	0,70	1,26
Deuxième . . . .	0,49	0,99	0,54	1,26

Tableau 6

2) Résultats généraux observés sur l'eau effluente et analyse de ces résultats: Tableau 7

Nature de l'eau . . . . .	EAU BRUTE	EAU EFFLUENTE			
		Filtration simple	Double filtration		
			1 <sup>re</sup>	2 <sup>re</sup>	
Nombre de filtrations . . .					
Vitesses de filtration en m/h. . . . .		6	6	3	6
Opalescence moyenne en gouttes de mastic :					
1 <sup>re</sup> série d'essais. . .	117	9/10	16/17	8	
2 <sup>e</sup> série d'essais. . .	127	13/14	16/17		13/14
Teneur moyenne en M. O. en mg/l. :					
1 <sup>re</sup> série d'essais. . .	2,25	1,38	1,48	1,28	
2 <sup>e</sup> série d'essais. . .	2,14	1,41	1,59		1,53
Teneur moyenne en B. Coli par litre :					
1 <sup>re</sup> série d'essais. . .	143.750	10.250	10.750	6.250	
2 <sup>e</sup> série d'essais. . .	111.000	15.600	16.200		10.500

% moyen de réduction par rapport à l'eau entrante :

Opalescence :					
1 <sup>re</sup> série d'essais. . .		91,9	85,9	51,5	
2 <sup>e</sup> série d'essais. . .		89,7	87,7		18,2
Teneur en M. O. :					
1 <sup>re</sup> série d'essais. . .		38,7	34,2	13,5	
2 <sup>e</sup> série d'essais. . .		34,1	25,7		3,8
Teneur en B. Coli :					
1 <sup>re</sup> série d'essais. . .		92,9	92,5	41,9	
2 <sup>e</sup> série d'essais. . .		85,9	85,4		35,2

a) Les valeurs des opalescences et des teneurs en matières organiques sont du même ordre de grandeur, après simple ou double filtration.

Il semble vraisemblable qu'une simple filtration sur une couche de sable de 120 cm donnerait des résultats pratiquement équivalents à ceux d'une double filtration sur deux couches de sable de 60 cm.

Ce résultat et cette hypothèse concordent avec les considérations précédentes sur l'inefficacité de la filtration pour retenir les matières colloïdales et, bien entendu, les matières dissoutes.

L'opalescence résiduelle après la première filtration est essentiellement due aux particules colloïdales qui existent toujours dans l'eau brute, à doses aussi faibles soient-elles. Une seconde filtration ou un doublement d'épaisseur de la première couche filtrante complète l'action de la première filtration mais leur action spécifique quant à la rétention des colloïdes n'est pas ou n'est guère meilleure, car l'influence de la granulométrie joue peu en faveur de la seconde filtration. Seule, la première filtration, en retenant les matières en suspension dans l'eau brute, apparaît donc comme ayant un rendement important dans la diminution de l'opalescence, — mais ceci n'est, en somme, que le résultat de la confusion introduite par la notion même d'opalescence qui ne fait aucune distinction entre ce qui est dû aux matières en suspension et ce qui provient des matières colloïdales.

Le même raisonnement explique l'effet relativement faible de la première filtration et l'effet encore moindre et presque négligeable de la seconde filtration en ce qui concerne la réduction de la teneur en matières organiques. La proportion toujours importante des matières organiques présentes à l'état colloïdal ou à l'état dissous limite l'action de la première filtration, et cette première filtration interdit toute efficacité pratique à la seconde qui reçoit une eau presque totalement débarrassée des matières organiques en suspension.

b) Les teneurs en *B. Coli* sont nettement diminuées par une double filtration, même si la deuxième filtration se fait à la même vitesse que la première.

Ceci s'explique si l'on tient compte, d'une part, que l'élimination des *B. Coli* est indépendante de l'épaisseur du sable, et, d'autre part, que la double filtration permet d'obtenir deux « membranes biologiques » superficielles d'élimination.

Cependant, le rendement bactériologique propre de la seconde filtration est très nettement inférieur à celui de la première filtration. Cette constatation n'est pas commodément explicable, mais il n'y a là rien que de très normal si l'on veut bien se souvenir de la complexité du phénomène à laquelle il a été fait allusion au paragraphe concernant l'effet de la vitesse de filtration dans le cas d'une filtration simple.

On peut cependant suggérer que la première filtration est suffisamment efficace pour appauvrir considérablement le milieu effluent en êtres vivants microscopiques de telle sorte que la seconde « membrane biologique » n'est le siège que d'une lutte très atténuée pour la vie. La différence d'efficacité des deux filtrations successives donnerait, dans cette hypothèse, un ordre de grandeur de l'effet de la première « membrane biologique ». Il faut aussi signaler que les bactéries ayant résisté à la première filtration sont les survivantes d'une sévère sélection, résultant en partie du hasard, mais en partie aussi basée sur les différences de résistances aux conditions de vie défavorables, de telle sorte que leur élimination peut être une opération plus difficile que celle des individus non triés existant avant la première filtration.

Dans le cas d'une « filtration lente » succédant à une ou plusieurs préfiltrations, on parvient cependant à une épuration bactériologique presque parfaite; cela tient, sans doute, à la durée du filtre qui permet à la « membrane » de se reconstituer normalement assez vite par prolifération sur place des organismes survivants.

Nous ne cachons pas que cette dernière explication ne repose sur aucune expérimentation ou mesure sérieuse et mériterait d'être étudiée en raison des améliorations techniques que sa confirmation éventuelle pourrait laisser entrevoir.

## F. — ÉTUDE DU COLMATAGE EN PROFONDEUR

### 1) Données:

- Vitesse de filtration : 6 m/h.
- Caractéristiques du sable :
  - épaisseur : 97 cm.
  - distribution : homogène (coefficient d'uniformité : 1,26)
  - granulométrie : Taille effective : 0,54 mm;  
 ø maximum : 0,99 mm;  
 ø minimum : 0,49 mm.

### 2) Observations:

Les diagrammes des pressions établis à partir de prises échelonnées de 10 cm en 10 cm sur la hauteur de la couche de sable, tendent à établir que le colmatage en profondeur ne descend pas au delà d'une vingtaine de cm de la surface du sable.

D'autre part, les échantillons d'eau prélevés au-dessous de cette zone ne décèlent pas de différences sensibles de composition.

Ces résultats traduisent le fait que les matières en suspension dans l'eau se déposent, en quasi totalité, dans la partie superficielle de la couche filtrante.

Ils ne doivent cependant être considérés que comme seulement valables en première approximation. Nous avons déjà indiqué qu'en réalité le filtre travaillait sur toute l'épaisseur de la couche filtrante. Mais la précision des moyens de mesure ne permet pas de mettre facilement en évidence l'action presque négligeable de chacune des tranches situées au-dessous de la couche superficielle.

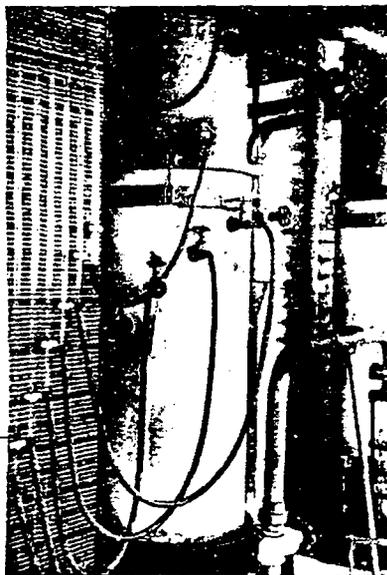


Fig. 8. — Station d'essais de Boulogne-sur-Seine - Prises de pression sur un filtre tubulaire (Photo Tschaegli-Appert)

G. — CONCLUSION D'ENSEMBLE

1° Il existe, pour une eau déterminée, une granulométrie optima de sable.

2° L'épaisseur de la couche de sable conditionne l'épuration physico-chimique de l'eau entrante mais n'intervient pratiquement pas dans son épuration bactériologique.

3° L'épuration bactériologique de l'eau entrante est directement fonction de la vitesse de la filtration et du nombre des filtrations successives.

4° La durée des cycles de filtration est liée à la granulométrie du sable et à la vitesse de filtration par une formule du type :

$$T = K \frac{D^n}{V^{n'}}$$

dans laquelle :

- T = durée du cycle en heures de filtration,
- K = constante dépendant de la couche filtrante et du pouvoir colmatant de l'eau entrante,
- D = taille effective du sable en mm,
- V = vitesse de filtration en m/h,
- n = sensiblement 1,25,
- n' = sensiblement 1,5.

5° La perte de charge initiale d'un filtre est proportionnelle à l'épaisseur du sable et à la vitesse de la filtration.

DEUXIÈME PARTIE

CARACTÉRISTIQUES DES INSTALLATIONS FRANÇAISES DE FILTRATION

Cette deuxième partie a pour objet la récapitulation des renseignements que les réponses à notre questionnaire ont permis de collecter sur les installations françaises de traitement des eaux brutes de rivière en vue de leur distribution publique.

Nous examinerons, en conséquence, successivement :

- les vitesses de filtration réalisées,
- le milieu filtrant utilisé,
- la préparation de l'eau avant filtration,
- le traitement de l'eau après filtration.

I. — Vitesses de filtration réalisées

La vitesse de filtration que nous envisageons est celle du filtre « finisseur ».

Ceci précisé, il ressort des rapports reçus qu'on peut distinguer deux catégories d'installations filtrantes suivant la valeur des vitesses de filtration réalisées.

Dans les premières, — que l'on qualifie de « lentes » — la vitesse de filtration est de l'ordre de 0,2 à 0,4 m/h.

Dans les secondes, — que l'on qualifie de « rapides » — elle est de l'ordre de 3 à 5 m/h.

On relève toutefois, parmi ces dernières, une exception notable : celle de l'installation filtrante de Saint-Barnabé à Marseille où les vitesses de filtration obtenues sont les plus élevées qui nous aient été indiquées :

- Minimum . . . . . : 10,8 m/h, soit 260 m/jour,
- Maximum . . . . . : 15,4 m/h, soit 370 m/jour,
- Moyenne arithmétique annuelle . . . : 11,5 m/h, soit 277 m/jour.

## II. — Milieu filtrant utilisé

Nous considérerons, d'une part, la fonction et, d'autre part, les caractéristiques du milieu filtrant.

### 1<sup>o</sup> Fonction du milieu filtrant.

Le milieu filtrant a essentiellement pour objet de retenir les particules et les bactéries en suspension dans l'eau.

Accessoirement, cependant, il peut être le siège de réactions chimiques provoquées volontairement ou non.

Par ailleurs, si la composition chimique de l'eau en corps dissous ne varie normalement pas au cours de la filtration, il peut en être parfois autrement, notamment dans le cas des eaux saturées en bicarbonate de chaux : les modifications d'équilibre dues à l'écoulement dans le milieu filtrant peuvent provoquer l'élimination d'une partie du gaz carbonique équilibrant et la précipitation de carbonate de chaux qui, formant un grès avec le sable, durcira la surface du filtre et diminuera sa perméabilité. M. Cointement (Rennes) signale, à ce sujet, que « si la neutralisation d'eaux acides coagulées se fait avec de la chaux avant la filtration, on obtient

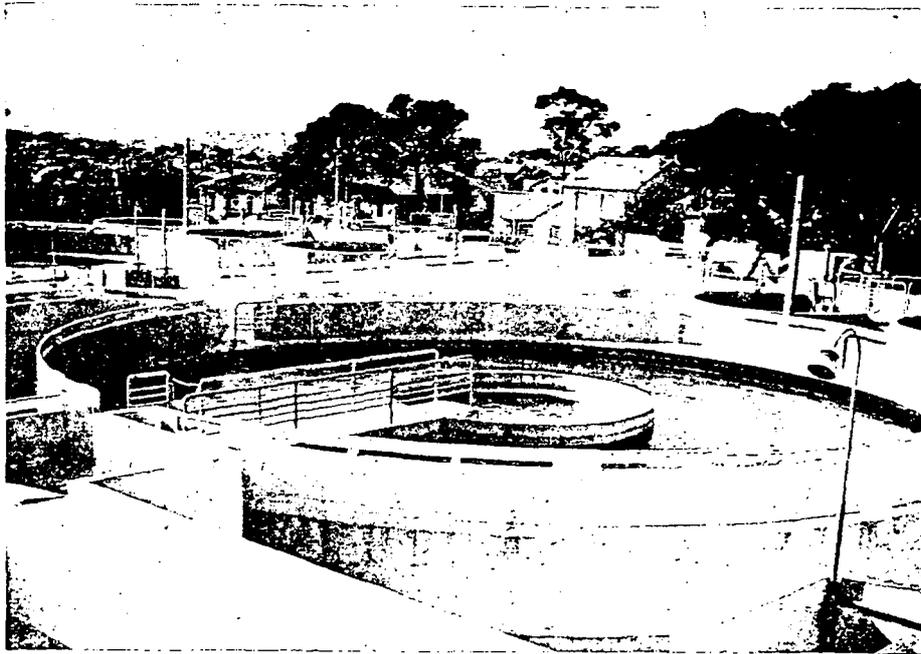


Fig. 9. — Ville de Marseille - Usine de Saint-Barnabé - Décanteurs et filtres

En effet, on peut conjuguer l'action de rétention proprement dite du milieu filtrant avec une action de correction chimique déterminée (neutralisation, déman-ganisation, déferrisation, etc...). C'est ainsi que dans quelques installations de Bretagne (Morlaix, Perros-Guirec, Redon, Binic), le filtre contient une couche de sable calcaire à gros grains et une couche de sable quartzeux, la première ayant pour objet de neutraliser l'eau, la seconde de la clarifier. C'est ainsi encore que lorsque des eaux contiennent des sels de fer en proportion trop faible pour justifier une déferrisation, le fer peut s'oxyder au contact de l'air et donner naissance à de l'hydrate ferrique, qui, agissant comme coagulant, améliorera la qualité de l'eau filtrée mais col-matera plus rapidement le filtre.

un précipité de carbonate si la quantité de chaux utilisée est simplement trop importante de quelques milli-grammes ».

### 2<sup>o</sup> Caractéristiques du milieu filtrant.

Les caractéristiques que nous envisagerons sont :

- la nature physico-chimique,
- les dimensions,
- la distribution.

#### a) Nature.

La nature du matériau filtrant intervient, accessoi-rement, comme nous venons de le voir, dans des cas

très particuliers de correction chimique, et, surtout, dans les problèmes de lavage du filtre (densité du matériau, résistance à l'attrition).

A ce titre, le remplacement du sable quartzéux qui est normalement utilisé comme matériau filtrant dans les installations françaises par de l'antracite ne se justifierait que par la densité plus faible du second matériau.

#### b) Dimensions.

Nous distinguerons, d'une part, les dimensions des grains de sable, et, d'autre part, l'épaisseur de la couche filtrante.

En ce qui concerne les dimensions des grains de sable, nous pensons qu'il y aurait lieu de normaliser le mode de leur détermination.

*En attendant, nous croyons devoir souligner l'intérêt que présente l'établissement, à intervalles réguliers, de la courbe granulométrique du milieu filtrant, et la définition, à partir de cette courbe, selon la méthode de Hazen, de la taille effective et du coefficient d'uniformité de ce milieu.*

Ceci étant indiqué, on observe, en France, que, selon la valeur de la vitesse de filtration, les dimensions du milieu filtrant sont, en moyenne, les suivantes :

VITESSE de filtration en m/h	DIAMÈTRE moyen des grains de sable en mm	ÉPAISSEUR de la couche en cm
0,2 à 0,4	0,6 à 0,8	60 à 100
3 à 5	1 à 2	80 à 120

Tableau 8

Dans le premier groupe des vitesses de filtration, l'épaisseur de sable la plus faible est de 50 cm.

Dans le second groupe, l'épaisseur de sable la plus grande est de 1,80 m (en particulier à l'installation de Saint-Barnabé à Marseille).

#### 3° Distribution.

Il est à remarquer que le sable est, en général, sensiblement homogène — coefficient d'uniformité : 1,3 — dans les installations dont la vitesse de filtration dépasse 3 m/h, tandis qu'il est hétérogène — coefficient d'uniformité : 2 à 3 — dans les installations dont la vitesse de filtration est inférieure à 0,4 m/h.

Ceci s'explique aisément. Le tamisage du sable est un procédé très onéreux, qui ne peut être envisagé que lorsqu'il s'agit de quantités relativement faibles de sable.

A titre indicatif, nous signalons que l'installation de Saint-Barnabé à Marseille utilise du sable homogène (490 m<sup>3</sup> pour filtrer 86.000 m<sup>3</sup>/jour) tandis que les quatre plus grandes installations françaises — celles d'Ivry et de Saint-Maur (du Service des Eaux de la Ville de Paris), de Choisy-le-Roi et de Neuilly-sur-Marne (du Syndicat des communes de la Banlieue de Paris exploité par la Compagnie Générale des Eaux) — ont toutes du sable hétérogène (pour chacune, de 20 à 30.000 m<sup>3</sup> pour filtrer 250 à 500.000 m<sup>3</sup>/jour).

### III. — Préparation de l'eau avant filtration

Ainsi que nous l'avons déjà indiqué, la filtration que nous considérons est la filtration proprement dite, c'est-à-dire celle qui est obtenue à partir des filtres finisseurs.

En ce qui concerne les installations de « filtration rapide », la filtration proprement dite est obligatoirement précédée d'une installation permanente de préparation de l'eau, par floculation et décantation.

Quant à la « filtration lente » pure, selon la définition que nous en avons donnée, elle n'est plus qu'un souvenir historique depuis près d'un demi-siècle. Les eaux bactériologiquement chargées sont, dans le cas général, des eaux de rivière dont la teneur en matières solides, variable avec les saisons, est à certaines époques une charge insupportable pour les filtres lents. D'où l'idée, née très rapidement, de faire précéder les filtres lents de filtres plus rapides délivrant un filtrat partiellement amélioré seulement, mais plus faciles à nettoyer économiquement parce que de surface bien inférieure. Les installations de filtration lente existantes sont donc généralement des installations comportant deux ou plusieurs étages de filtration, les étages de tête portant le nom de préfiltres ou de dégrossisseurs. Le nettoyage des étages de dégrossissage s'est fait d'abord par la même méthode que celui des filtres lents, puis par des méthodes mécanisées, plus ou moins copiées sur celle des filtres rapides; il est d'ailleurs dommage que la querelle des filtres lents et des filtres rapides, au sens habituellement donné à ces deux expressions et qui a été précédemment exposé, n'ait pas permis de reconnaître plus tôt que les préfiltres ne sont purement et simplement, du point de vue du problème du lavage, que des filtres rapides et, par conséquent, que leur système de lavage mécanique doit être obligatoirement doté de tous les perfectionnements reconnus indispensables pour les derniers, si bien que certaines grandes stations, comme celles du Service des Eaux de la Ville de Paris, sont handicapées par des modes de lavage mécanique plus ou moins imparfaits.

En somme, à ce jour, on constate que :

— dans les installations dites habituellement de « filtration lente » la filtration proprement dite, à faible vitesse de filtration (0,2 à 0,4 m/h), est précédée

d'un ou de plusieurs étages de filtration disposés en série.

— Dans les installations dites habituellement de « filtration rapide », la filtration proprement dite, à vitesse de filtration supérieure à 3 m/h, est précédée d'une installation de floculation-décantation, de type soit horizontal soit vertical.

La filtration proprement dite est donc toujours précédée d'une préparation de l'eau.

Il n'entre pas dans le cadre de ce rapport de décrire dans le détail les modalités diverses de cette préparation. Mais il est intéressant de remarquer que, d'une manière générale, se classent dans le groupe des installations de « filtration lente », les installations d'épuration d'eaux des rivières des régions calcaires et, dans le groupe des installations de « filtration rapide », les installations d'épuration d'eaux des rivières des régions granitiques ou schisteuses.

On reconnaît, dans cette statistique, la traduction de ce que nous avons déjà indiqué au sujet de la différenciation des eaux suivant leur possibilité de filtration en fonction de leur origine et de leur composition.

Nous ferons cependant deux remarques concernant les installations de filtration d'eaux des rivières des régions calcaires.

En premier lieu, parmi les dernières installations réalisées, on en trouve également qui sont pourvues de filtres dont les vitesses de filtration dépassent 3 m/h et dans lesquelles l'eau subit au préalable un traitement permanent, soit de coagulation (Le Havre - 1949), soit de coagulation-décantation (Aix-en-Provence-1953; Casablanca - 1951-1952; Pontoise - 1950; Viry-Chatillon 1949).

En second lieu, parmi celles dont les vitesses de filtration sont comprises entre 0,2 et 0,4 m/h, on constate que quelques-unes des plus récentes comportent, outre un ou plusieurs étages de filtration précédant la filtration proprement dite, une installation permettant la floculation-décantation de l'eau brute, soit à titre temporaire (Oran - 1952), soit à titre permanent (Ville-neuve-sur-Lot - 1931 modifiée en 1951).

On tend donc actuellement à étendre aux eaux des rivières des régions calcaires des procédés de préparation de l'eau avant filtration par floculation et décantation qui étaient jusqu'alors réservés aux eaux des rivières des régions granitiques ou schisteuses.

Cette évolution nous semble capitale et parfaitement justifiée. Elle résulte du fait que si les particules colloïdales sont normalement en quantité négligeable dans les eaux calcaires, leur nombre peut augmenter dans de notables proportions à certaines périodes de l'année. Il s'ensuit qu'au cours de ces périodes, il peut être nécessaire de flocculer les eaux brutes.

Ainsi, en conclusion de ces considérations, nous sommes amenés à souligner ces deux constatations qui nous paraissent essentielles :

1° La filtration proprement dite des eaux brutes de rivière est toujours précédée d'une préparation de ces eaux, — et cela quelle que soit la vitesse de la filtration.

2° Un traitement de floculation des eaux brutes de rivière semble devoir désormais être toujours prévu, à titre temporaire ou permanent — et cela quelle que soit la nature des eaux brutes.

Nous croyons devoir tout particulièrement insister sur cette nécessité d'un traitement de floculation au moins temporaire, parce que cette nécessité nous paraît être trop souvent méconnue.

Nous précisons toutefois que ces constatations sont relatives aux seules eaux brutes de rivière. (En particulier, un traitement de floculation peut être inutile dans le cas d'eaux de lacs contenant essentiellement du plancton).

#### IV. — Traitement de l'eau après filtration

Par définition, la « filtration rapide » doit toujours être suivie d'un traitement de stérilisation des eaux filtrées.

En ce qui concerne les installations de « filtration lente », on observe que, postérieurement au développement des stations à plusieurs étages et jusque vers 1920 environ, elles ne firent appel à aucun traitement auxiliaire de stérilisation pour réaliser l'épuration bactériologique de l'eau. Puis la chloration qui s'était développée essentiellement à l'usage des filtres rapides leur fut appliquée, à titre de sécurité surtout, et sans qu'on se soit peut-être à l'origine bien rendu compte de la nécessité absolue de cette adjonction, qui résulte, en particulier, de l'impossibilité où se trouve, par temps froid, un filtre lent de stériliser une eau même moyennement polluée, ou plus exactement, de la probabilité appréciable que l'effluent d'un filtre lent contienne une pollution résiduelle lorsque sa température est inférieure à 4° C par exemple. C'est, du reste, en visant le cas du traitement des eaux froides que nous avons dit précédemment que la filtration lente ne peut pas être considérée comme un moyen infaillible de lutte contre la pollution grâce aux seuls processus biologiques dont elle permet la mise en œuvre.

Actuellement la « filtration lente » au sens auquel nous l'avons définie — c'est-à-dire une filtration biologique capable d'assurer l'épuration bactériologique permanente de l'eau filtrée sans le secours d'un stérilisant — n'est plus pratiquée, dans son intégralité, dans aucune installation filtrante de moyenne et de grande importance. Et il nous paraît significatif à ce sujet qu'à Pau le doublement de la vitesse de filtration de 3 à 6 m/jour ait semblé devoir « entraîner une légère chloration de l'eau ».

En somme, à la lecture des rapports reçus, une conclusion s'impose : un traitement de stérilisation est actuellement appliqué à toutes les eaux de rivière filtrées — et cela quel que soit le mode de préparation de l'eau avant sa filtration et quelle que soit la vitesse de cette filtration, c'est-à-dire qu'il s'agisse de « filtration lente » ou de « filtration rapide ».

Nous n'étudierons pas les stérilisants employés et leur mode d'emploi; nous attirons simplement l'attention sur le fait que les taux de stérilisation appliqués lorsqu'on utilise le chlore dépendent davantage de la composition chimique des eaux filtrées (en particulier, matières organiques, azotées, etc...) que du nombre des *B. Coli* contenus dans ces eaux — ce qui est du reste en accord avec les dernières théories sur le pouvoir bactéricide du chlore.

### TROISIÈME PARTIE

## COMPARAISON DES PROCÉDÉS DE FILTRATION

Dans cette troisième partie, nous nous proposons de comparer les procédés de « filtration lente » et de « filtration rapide » en nous plaçant à chacun des points de vue suivants :

- rendements obtenus;
- sujétions d'exploitation;
- prix de revient.

#### I. — Rendement de la filtration

Nous examinerons sous ce titre les rendements obtenus dans les installations de « filtration lente » et dans les installations de « filtration rapide » pour la correction des caractéristiques ci-après des eaux brutes de rivière :

- turbidité ou opalescence ou limpidité;
- coloration;
- saveur;
- odeur;
- teneur en matières organiques;
- teneur en *B. Coli*;
- teneur en algues microscopiques.

#### A. — ÉLIMINATION DE LA TURBIDITÉ PAR FILTRATION

Nous avons déjà souligné quelle importance avait revêtu du point de vue historique la lutte contre la turbidité.

Nous rappelons, d'autre part, que suivant les Instructions de 1954 du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France, une eau est considérée comme limpide lorsque sa turbidité, mesurée selon la technique de DIENERT et GUILLERD, est inférieure à celle créée dans 50 cm<sup>3</sup> d'eau optiquement vide par 5 gouttes d'une solution alcoolique de mastic. Cette turbidité correspond environ à 0,5° de silice.

Il s'agit là d'un critère draconien qui est loin d'être imposé en Angleterre ou aux États-Unis par exemple. On peut d'ailleurs admettre qu'il fut historiquement

justifié à une époque où les moyens de contrôle et d'action sur la qualité bactériologique d'une eau étant relativement déficients, les seconds étant pratiquement limités à la filtration lente, on avait tendance à admettre qu'en exigeant la quasi perfection en matière de turbidité, on s'assurait indirectement que le traitement avait été conduit avec le maximum de soins susceptibles d'entraîner une lutte victorieuse contre toute pollution.

Actuellement, il ne paraît pas discutable que le meilleur moyen d'obtenir en permanence une eau de turbidité quasi nulle est encore une « filtration rapide » bien conduite, tandis que n'importe quelle filtration, à vitesse aussi faible soit-elle est rigoureusement incapable dans certaines conditions de fournir une eau limpide, au sens défini ci-dessus.

La turbidité d'une eau brute de rivière est, en effet, fonction des matières qu'elle contient, d'une part, en suspension, et, d'autre part, à l'état colloïdal. Et, nous le rappelons, il est expérimentalement certain et d'ailleurs logiquement compréhensible qu'un procédé de traitement purement physique comme la filtration ne peut pas lutter contre la turbidité constituée par la présence dans l'eau de particules à l'état colloïdal. C'est ainsi que, dans les établissements filtrants de Paris et de la banlieue, l'expérience montre, qu'en période de crue de la Seine et de la Marne, lorsque la transparence de l'eau brute descend au-dessous de 0,35 m par la méthode du disque de SECCHI, la turbidité de l'eau filtrée dépasse 5 gouttes, et atteint même parfois des valeurs sensiblement supérieures à 20 gouttes de mastic, à moins qu'il ne soit fait alors usage d'une coagulation auxiliaire.

Nous avons de même noté que dans l'installation de « filtration lente » d'Oran, mise en service en mai 1952, au moment de la crue de l'Oued Tafna en avril 1954, il a été nécessaire de procéder à un traitement complémentaire de coagulation de l'eau brute pour maintenir l'opalescence de l'eau filtrée au-dessous de 5 gouttes de mastic.

Nous connaissons personnellement d'autres stations de filtration lente dont les exploitants n'ont pas répondu à notre questionnaire et où la coagulation s'est pratiquement révélée indispensable en période de crue.

Ce phénomène est donc général, même s'il n'a pas toujours été reconnu comme tel.

Certes, on constate, par le tableau ci-après, qu'en moyenne, pour chacun des deux types d'installation, « lente » ou « rapide » :

— le rendement global est pratiquement identique et très élevé (compris entre 95 et 100 %);

— l'opalescence de l'eau filtrée demeure dans les limites imposées.

Les procédés de mesure variables ne permettent pas de comparer utilement les résultats obtenus par les différents expérimentateurs et exploitants. Leur manque de fidélité empêche un même expérimentateur de contrôler avec sécurité la marche d'une exploitation soumise à des essais échelonnés dans le temps et dans l'espace. Remarquons toutefois que l'appareil DRATZ-GOMELLA, par exemple, que nous avons déjà cité, assurerait, s'il était construit en grande série, la reproductibilité indispensable des mesures, et c'est pourquoi nous l'avons remarqué.

La « turbidité » mesurée sur une eau brute dépend — nous le rappelons à nouveau — des matières en

TYPE d'installation	DÉGROSSISSEURS, PRÉFILTRES FILTRES					FLOCCULATEURS, DÉCANTEURS FILTRES				
	« lente » (0,2 à 0,4 m/h)					« rapide » (> 3 m/h)				
TURBIDITÉ en gouttes de mastic dans 50 cm <sup>3</sup> )	Turbidité de l'eau			Rendement en %		Turbidité de l'eau			Rendement en %	
	brute	avant filtre	après filtre	filtre	global	brute	avant filtre	après filtre	filtre	global
	CHOISY-LE-ROI (1)					VIRY-CHATILLON				
Maximum. . . . .	300	100	20	80	93,3	300	10	2	80,0	99,3
Minimum. . . . .	25	2	1	50	96,0	28	6	3	50,0	89,3
Moyenne. . . . .	57	3	2	33,3	96,5					
	ORAN (1)					MARSEILLE (St Barnabé)				
Maximum. . . . .	70		1		99,5	400	14	5	64,3	98,8
Minimum. . . . .	8		0		100	20	13	1	92,3	95,0
Moyenne. . . . .	29		0		100	96	33	2	93,9	97,9

(1) Le maximum considéré est celui en dehors des périodes de crues.

Tableau 9

Mais il convient de faire, en ce qui concerne les installations de « filtration lente », cette importante réserve que l'on n'a pas tenu compte des résultats des périodes de crue où le rendement paraît baisser sensiblement.

En vérité, le critère traditionnel de « turbidité », d'« opalescence » ou de « limpidité », avec ses procédés de mesure, d'ailleurs variés et souvent incompatibles, employés habituellement et avec son rendement estimé par comparaison entre la même caractéristique mesurée sans nuances sur l'eau brute, d'une part, et sur l'eau traitée, d'autre part, nous paraît désuet. Il interdit toute objectivité dans l'appréciation des mérites des différents procédés de traitement, et, par voie de conséquence, il freine le progrès.

suspension et des matières colloïdales. Un rendement calculé à partir d'une telle mesure ne peut avoir de sens précis puisqu'il confond les résultats d'un traitement sur deux caractères indésirables d'une eau brute qui sont différents et dont les effets sur la « turbidité » se mêlent en proportions variables, d'une eau brute à l'autre, et, d'un instant à l'autre, pour une même eau brute.

La solution de toutes ces difficultés nous paraît cependant en vue.

Le repérage des matières en suspension à l'exclusion des matières colloïdales est à peu près parfaitement réalisé par des tests tels que le « pouvoir colmatant » de BEAUDREY (en France) ou le « straining index » du D<sup>r</sup> BOUCHER (en Angleterre) dont la

remarquable correspondance a été démontrée par M. P. MANGEREL dans un article publié par *La Technique de l'Eau*. Il est donc possible d'apprécier directement le rendement d'un traitement en cette matière par comparaison des pouvoirs colmatants avant et après traitement.

Une norme pour les eaux « potables » — c'est-à-dire après traitement complet — pourrait être fixée, après adaptation éventuelle du « colmatomètre » à ce cas très spécial, en raison des difficultés de mesure signalées par M. P. MANGEREL. Cette norme devrait

ment, à la fois dans la réalisation des installations et dans la manière dont elles sont conduites, la norme devrait varier avec le procédé de traitement. Une eau à 20 gouttes de mastic peut être considérée comme satisfaisante s'il s'agit d'une eau non traitée; mais si cette même eau a subi un traitement de coagulation, cela prouve que ce traitement est mal conçu ou mal conduit.

Ces considérations ne nous paraissent pas inutiles à propos d'une comparaison entre « filtration lente » et « filtration rapide », puisqu'elles permettent de

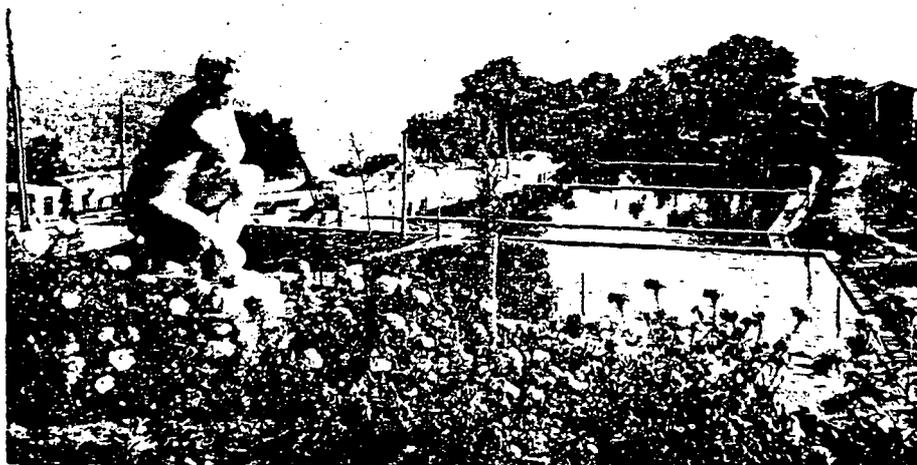


Fig. 10. — Nice (Photo Tschceglé-Appert)

imposer un critère de potabilité draconien, car, d'une part, une filtration bien conduite, base de tous les traitements, élimine sans difficulté les matières en suspension, et, d'autre part, la présence de celles-ci n'est pas souhaitable pour la plupart des usages nobles (domestiques ou industriels) de l'eau.

Le repérage des matières colloïdales pourrait, par ailleurs, se faire par une méthode optique à normaliser, mais seulement après filtrage de l'eau à étudier (par exemple, sur papier).

La norme d'« opalescence » ou de « limpidité » pour des eaux sans matières en suspension et par conséquent à pouvoir colmatant à peu près nul, pourrait être nuancée. Les matières colloïdales en quantité raisonnable ne sont pas spécialement gênantes exception faite de ce qu'elles entraînent une consommation excessive de stérilisant.

Il est à remarquer, d'autre part, que si la mesure en question devait servir à juger la qualité d'un traite-

ment, à la fois dans la réalisation des installations et dans la manière dont elles sont conduites, la norme devrait varier avec le procédé de traitement. Une eau à 20 gouttes de mastic peut être considérée comme satisfaisante s'il s'agit d'une eau non traitée; mais si cette même eau a subi un traitement de coagulation, cela prouve que ce traitement est mal conçu ou mal conduit.

#### B — ÉLIMINATION DE LA COLORATION PAR FILTRATION.

La coloration des eaux brutes de rivière peut être due, soit à des particules boueuses ou à des algues en suspension, soit à des particules colloïdales.

Dans le premier cas, les eaux sont également troubles et l'élimination de la coloration peut être obtenue relativement facilement dans des installations de « filtration lente ».

Dans le second cas, les eaux demeurent limpides, et, pour les mêmes raisons que celles indiquées au chapitre précédent, la filtration lente est absolument incapable de supprimer la coloration, et l'élimination de celle-ci exige l'emploi d'installations de « filtration rapide » (Morlaix-La Roche-sur-Yon).

### C — CORRECTION DE LA SAVEUR PAR FILTRATION.

Les eaux de rivière filtrées peuvent avoir un goût de vase en quasi permanence ou seulement en période d'étiage.

Elles peuvent aussi avoir, à des époques quelconques, des saveurs plus ou moins désagréables et variables. Cela se présente notamment :

— lorsque des déversements industriels sont effectués en amont de la prise d'eau, soit que ces déversements aient par eux-mêmes des saveurs désagréables, soit qu'ils contiennent des produits tels que les phénols qui, sans avoir de goûts propres, du moins aux dilutions considérées, se combinent au chlore utilisé comme stérilisant pour donner naissance à des saveurs désagréables;

— lorsque les algues qui se développent dans les bassins de décantation ou de filtration abandonnent des huiles;

— lorsque les eaux brutes sont chargées de matières humiques (eau de la Brière pour l'alimentation de Saint-Nazaire).

Aucun des deux traitements, « filtration lente » ou « filtration rapide », n'est capable de lutter efficacement contre les mauvais goûts, lorsque ceux-ci sont engendrés par des substances difficilement oxydables.

Dans le cas seulement où les mauvais goûts sont induits par des matières très facilement oxydables ou éventuellement volatiles, la « filtration lente » paraît donner de meilleurs résultats. Encore est-il bien évident que, dans ce cas, il est indispensable de penser à influencer économiquement sur la vitesse de la réaction ou de l'élimination, par exemple, par aération préalable.

En somme, il n'y a pas lieu d'attribuer un avantage marqué à l'un des deux modes de traitement sur l'autre, chacun étant à peu près inefficace dans les cas graves.

L'élimination des saveurs désagréables ne peut être espérée, surtout et avant tout, que de la stricte observation de la réglementation qui vient d'être instituée en France au sujet des déversements industriels en rivière. (Instructions générales relatives à l'assainissement des agglomérations - 13 février 1950; note n<sup>o</sup> 51-170 du Ministère de la Reconstruction et de l'Urbanisme - 8 octobre 1951; Instruction relative au rejet des eaux résiduaires par les établissements classés comme dangereux, insalubres ou incommodes en application de la loi du 19.12.1917 - 6 juin 1953).

Désormais, les effluents résiduaires ne doivent comporter aucun « produit qui favoriserait la manifestation d'odeurs, de saveurs ou de colorations anormales dans les eaux naturelles utilisées en vue de l'alimentation humaine, au sein, tant des établissements filtrants, que

des réseaux de distribution, soit directement, soit par contact avec les substances à mettre en œuvre pour le traitement des eaux de consommation ».

En attendant que cette réglementation produise ses effets, on observe que, le cas échéant, certaines installations filtrantes s'efforcent d'éviter que les eaux distribuées présentent une saveur désagréable et que des résultats intéressants ont été obtenus en appliquant des traitements appropriés : emploi de charbon actif (Arcachon, Pontoise), — traitement à la chloramine (La Calle (Algérie), Ivry-sur-Seine), — traitement au bioxyde de chlore (Choisy le Roi, Marseille, Viry-Châtillon), — ozonation (Saint-Maur), etc...

Nous pensons que le problème de l'élimination des saveurs désagréables de l'eau est un de ceux sur lesquels l'attention doit être particulièrement attirée, car le consommateur est très sensible à toute variation du goût de l'eau qui lui est distribuée, et il a, de plus, tendance à juger non potable une eau ayant mauvais goût, même si celle-ci est bactériologiquement pure.

### D. — CORRECTION DE L'ODEUR PAR FILTRATION

L'élimination des odeurs désagréables d'une eau est très souvent liée à celle des mauvais goûts.

Il s'ensuit que les conclusions que nous avons données au paragraphe précédent sont également valables en ce qui concerne celui-ci.

### E. — ÉLIMINATION DES MATIÈRES ORGANIQUES

Il est à remarquer — comme cela a déjà été indiqué — que le dosage des matières organiques ne permet pas de distinguer les matières organiques dissoutes des matières organiques en suspension ou à l'état colloïdal avant floculation.

Le rendement de la filtration en cette matière apparaîtra donc rarement comme très élevé, dans la mesure où toute eau naturelle a de grandes chances de comporter des matières organiques dissoutes.

Pour une eau déterminée, le rendement d'une « filtration rapide » pourrait être, en général, plus élevé que celui d'une « filtration lente », car la première, seule, agit sur les matières colloïdales; mais la seconde peut permettre des transformations biologiques de la matière organique qui sont impossibles à obtenir avec la première et qui sont capables de compenser l'effet de la coagulation.

En définitive, le tableau suivant montre que les rendements moyens obtenus dans l'élimination des matières organiques sont pratiquement du même ordre quel que soit le type d'installation filtrante utilisé.

Cependant, les teneurs en matières organiques des eaux des rivières diffèrent nettement suivant qu'il

TYPE D'INSTALLATION	DÉGROSSISSEURS, PRÉFILTRES FILTRES					FLOCCULATEURS, DÉCANTEURS FILTRES				
	« lente » (0,2 à 0,4 m/h)					« rapide » (> 3 m/h)				
VITESSE DE FILTRATION	Teneurs de l'eau			Rendement en %		Teneurs de l'eau			Rendement en %	
	brute	avant filtre	après filtre	filtre	global	brute	avant filtre	après filtre	filtre	global
TENEUR EN MATIÈRES ORGANIQUES (représentées par l'oxygène emprunté au permanganate de potasse en milieu alcalin) en mg/l	NICE (1)					MÉZIÈRES-sur-COUESNON (Rennes)				
	Maximum. . . . .	3,5	0,5	85,7		16	3,5	2,7	22,8	83,1
	Minimum. . . . .	0,5	0,3	40		2,5	1,6	1,3	18,7	48
	Moyenne. . . . .	1.	0,4	60		3,8	2	1,6	20	57,8
	IVRY-SUR-SEINE					CASABLANCA (1)				
	Maximum. . . . .	3	0,7	76,7		17,1	4,0		76,6	
	Minimum. . . . .	0,85	0,4	52,9		5,9	3,15		46,3	
	Moyenne. . . . .	1,2	0,5	58,3		7,5	4,5		40	

(1) Dosage en milieu acide.

Tableau 10

s'agit de rivières de régions calcaires ou de rivières de régions granitiques et schisteuses.

Dans le premier cas, les teneurs sont faibles (2 à 3 mg/l). Dans le second cas, elles sont élevées (3 à 15 mg/l) — ce qui témoigne d'un fort pourcentage de matières à l'état colloïdal qui sont en particulier à l'origine des colorations alors observées.

En règle générale, la « filtration rapide » apparaît donc comme étant encore la mieux adaptée aux eaux des rivières des terrains anciens ou métamorphiques, au point de vue, considéré d'ailleurs comme relativement secondaire, de l'élimination des matières organiques.

F. — ÉLIMINATION DES B. COLI PAR FILTRATION

Nous rappelons, que, toutes choses égales par ailleurs, l'efficacité bactéricide de la filtration est d'autant plus élevée que la vitesse de cette filtration est plus faible, et qu'en particulier, dans la Banlieue de Paris, au cours d'essais de longue durée, on a pu relever les pourcentages moyens suivants d'élimination des B. Coli contenus dans l'eau brute en fonction de la seule vitesse de filtration :

Vitesse de filtration en m/h. . . . .	0,20	0,75	2	6	12
% d'éliminations de B. Coli. . . . .	≥ 99	98,1	81,6	74,2	73,4

Tableau 11

En regard de ces résultats, il convient également de noter que dans une installation de « filtration rapide » on obtient une épuration bactériologique appréciable de l'eau filtrée non stérilisée si on réalise une bonne floculation de l'eau brute. Les bactéries sont « piégées » par le floculant et elles se déposent dans les décanteurs et dans les filtres. C'est ainsi que des expériences effectuées dans la Banlieue de Paris (durée de décantation : 2 h 30 - vitesse de filtration 6 m/h), ont donné les résultats suivants :

TAUX de floculation en g/m <sup>3</sup> de FeCl <sup>3</sup> de l'eau brute	% d'élimination des B. Coli contenus dans l'eau brute
2	77,0
4	79,6
10	81,3
15	84,7
30	87,7
35	90

Tableau 12

Il est néanmoins indiscutable — et le tableau ci-après le confirme — que les installations de « filtration rapide » ont un rendement bactériologique inférieur à celui des installations de « filtration lente ». Les eaux filtrées dans les installations de « filtration rapide » contiennent donc normalement davantage de B. Coli et l'écart observé est d'autant plus élevé, en valeur

TYPE d'installation	DÉGROSSISSEURS, PRÉFILTRES FILTRES					FLOCCULATEURS, DÉCANTEURS FILTRES				
Vitesse de filtration	« lente » (0,2 à 0,4 m/h)					« rapide » (> 3 m/h)				
TENEUR EN B. COLI par litre	Teneurs de l'eau			Rendement en %		Teneurs de l'eau			Rendement en %	
	brute	avant filtre	après filtre	filtre	global	brute	avant filtre	après filtre	filtre	global
	CHOISY-LE-ROI					VIRY-CHATILLON				
Maximum . . .	20.000	200	10	99	99,9	3.000	800	200	75	93,3
Minimum . . .	500	15	0	97	100	900	400	100	75	88,9
Moyenne . . .	10.600	40	15	99,2	99,8					
	SURESNES					BOULOGNE-SUR-SEINE (Station d'essais de la Cie Gle des Eaux)				
Maximum . . .	800.000	10.000	1.200	88	99,8					
Minimum . . .	20.000	500	0	97,5	100					
Moyenne . . .	96.500	3.900	100	97,4	99,9	255.000	102.000	12.500	57,0	94,6

Tableau 13

absolue, que la différence des vitesses de filtration est plus grande et que les eaux brutes sont plus souillées.

Il est clair dans ces conditions — et cela ressort, du reste, de la définition que nous en avons donnée — que toute installation de « filtration rapide » doit obligatoirement être suivie d'une installation de stérilisation.

Cependant, dans la pratique actuelle, nous l'avons déjà remarqué, non seulement les installations de « filtration rapide » sont pourvues d'un poste de stérilisation, mais il en est de même des installations de « filtration lente ».

Nous sommes amenés, en conséquence, à nous demander si, dans les installations de « filtration lente », la stérilisation chimique des eaux filtrées est une sécurité abusive, ou si elle est, au contraire, indispensable?

Est-il possible d'obtenir une eau toujours bactériologiquement pure par une simple « filtration lente », et la stérilisation complémentaire actuellement effectuée dans les installations de ce type n'a-t-elle été imposée que par l'augmentation des vitesses de filtration?

Il est bien certain que c'est par une filtration extrêmement lente que, dans la nature, on obtient des eaux bactériologiquement pures. Dans la pratique, toutefois, il ne semble pas que l'on puisse descendre au-dessous de 2,50 m/jour comme vitesse de filtration dans une installation de « filtration lente ».

Si l'on se réfère aux résultats des deux établissements filtrants de la Ville de Paris qui se trouvent placés en

amont de l'agglomération, à Ivry sur la Seine d'une part, Saint-Maur sur la Marne d'autre part, on constate que les filtres finisseurs — dont la vitesse a d'ailleurs été portée pour des raisons impérieuses d'exploitation aux environs de 8 à 10 m par jour — délivrent une eau dont la teneur en B. Coli oscille suivant la saison et suivant l'établissement entre 0 et 600 unités par litre avec même des pointes supérieures à ce dernier chiffre lorsque la température de l'eau est inférieure à quelques degrés C. On a voulu récemment vérifier si cette détérioration de la qualité de l'effluent était liée à l'accroissement de la vitesse de filtration et on a maintenu, pendant plusieurs mois, un filtre muni d'un régulateur automatique à la vitesse de filtration théorique de 2 m 50 par jour pour laquelle ces installations avaient été initialement projetées. Or, on n'a pas constaté de différences appréciables de la qualité de l'effluent issu de ce filtre comparée à la qualité de l'effluent moyen de l'ensemble de la station.

Ce résultat s'explique si l'on observe que, selon le tableau ci-dessus, quand la vitesse de filtration passe de 0,20 à 0,50 m/h, le pourcentage d'élimination des B. Coli demeure de l'ordre de 99 % et ne varie pas sensiblement par rapport à cette valeur. Il est possible en outre que cette situation résulte également de l'ancienneté des masses filtrantes dont certaines n'ont pas été renouvelées depuis plusieurs dizaines d'années. Mais comme on sait qu'il est extrêmement onéreux de renouveler complètement la masse de sable garnissant un filtre lent, d'une part, et que, d'autre part, la litté-

rature technique contient le récit d'expériences décevantes de préchloration poursuivies parfois pendant de longs mois en vue de désinfecter les masses filtrantes en place, (l'une d'elles a été tentée à Saint-Maur en 1945; une autre est mentionnée dans un numéro ancien du Journal de l'Association des Services d'Eaux de la Nouvelle Angleterre), on peut logiquement considérer que la situation actuelle des filtres lents de la Ville de Paris est une circonstance normale de la filtration lente et que par conséquent, l'utilisation obligatoire d'une post-stérilisation dans de telles installations est parfaitement justifiée.

Du reste, reportons-nous aux années durant lesquelles la vitesse de filtration dans les installations de la région parisienne demeurait très faible.

Nous constatons, que sur 1785 prélèvements effectués au cours des années 1915, 1916 et 1917, au départ des installations filtrantes de la Banlieue de Paris, par M. Dienert, Chef du Service de surveillance des Eaux d'alimentation, 829 seulement, — soit 46,5 % — étaient exempts de B. Coli. Or, la vitesse moyenne de filtration dans ces installations était de l'ordre de 3,50 m/jour.

Considérons, enfin, les statistiques officielles des cas de morbidité typhique dans la Banlieue de Paris. Nous pouvons établir le tableau 14.

Il apparaît ici nettement que, du point de vue de la santé publique, un progrès très important a été réalisé à partir du moment où on a épuré par « filtration lente » les eaux brutes de rivière, antérieurement distribuées telles quelles. La seule « filtration lente » a permis d'obtenir une eau contenant moins de bactéries que bien des eaux de sources issues de terrains calcaires largement diaclasés, comme le montre le tableau 15 des valeurs moyennes relevées au Bulletin Municipal Officiel de la Ville de Paris pour l'année 1905.

ANNÉES	VITESSES moyennes de filtration en m/jour	NOMBRE de cas de fièvre typhoïde par an et pour 200.000 habitants	OBSERVATIONS
1896-1900	—	389	Communes alimentées en eaux de Seine non filtrées.
	—	222	Communes alimentées en eaux de sources
	2,5	138	Communes alimentées en eau de Seine et de Marne filtrée.
1915-1919	3,5	83	Communes alimentées en eaux de rivière filtrées et stérilisées par intermittence et à titre temporaire.
1935-1939	5	19,5	Communes alimentées en eaux de rivière filtrées et stérilisées en permanence.

Tableau 14

Nombre de colonies par cm <sup>3</sup>	EAUX DE RIVIÈRES				EAUX DE SOURCES			
	Seine		Marne		Vanne	Loing	Dhuis	Avre
	brute	filtrée	brute	filtrée				
	133.729	310	63.389	300	800	480	3.585	1.070

Tableau 15

En outre, on constate que, dans les mêmes conditions de traitements médicaux, l'adoption de la « filtration lente » a fait immédiatement baisser, dans la Banlieue de Paris, la moyenne annuelle des décès typhiques de 59,4 à 24,2 pour 200.000 habitants.

Mais il apparaît, d'autre part, non moins nettement, qu'un nouveau progrès très important a été accompli du point de vue de la santé publique dès que la décision a été prise de stériliser en permanence les eaux déjà épurées par filtration lente.

En conclusion, il semble qu'à la question posée, on puisse répondre de la façon suivante : dans les installations de « filtration lente », non seulement la stérilisation chimique des eaux filtrées n'est pas une sécurité abusive, mais encore elle est une sécurité indispensable, même lorsque la vitesse de filtration est aussi faible que possible.

risque créé par un manque de stérilisant chimique est fortement atténué par rapport à ce qu'il serait dans le cas de la « filtration rapide ». Mais, outre que les techniciens de l'hygiène publique ne sauraient considérer la sécurité du seul point de vue abstrait du calcul des probabilités, sous peine de se disqualifier moralement, le cas des eaux brutes fortement polluées permet de

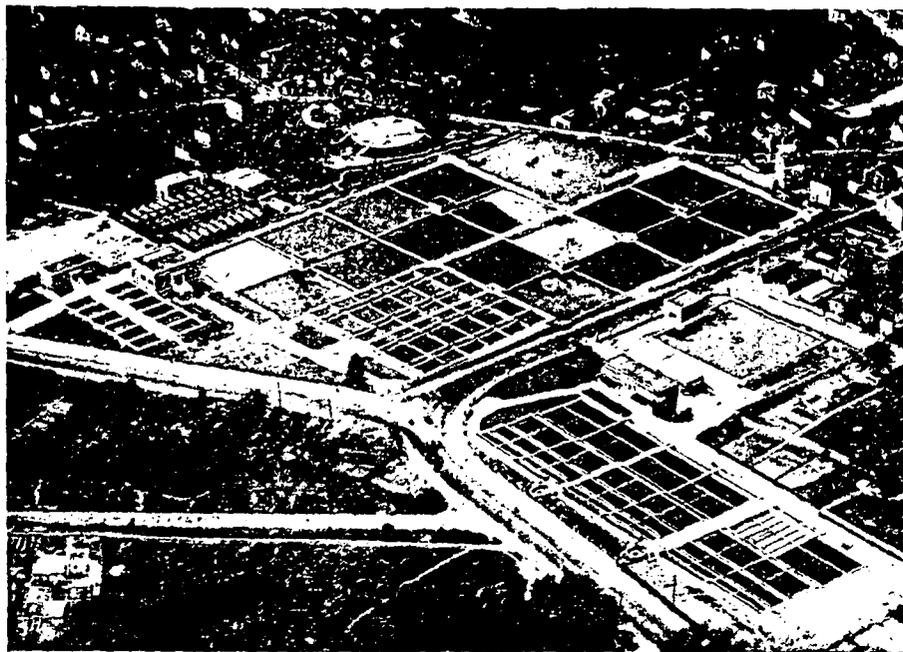


Fig. 11. — Suresnes (Photo C<sup>o</sup> Aérienne Française)

Seule la stérilisation permanente garantit la distribution d'une eau ne contenant aucun germe pathogène.

La « filtration lente » apparaît alors comme un moyen onéreux et d'ailleurs imparfait de doubler la stérilisation chimique et non le contraire comme cela a pu être soutenu dans de nombreux cas.

Est-ce, du reste, vraiment un avantage de disposer de ce mode imparfait d'épuration auquel on attribue la possibilité de pallier les défaillances éventuelles de la stérilisation?

Rien ne paraît moins sûr.

L'exploitant d'une station de « filtration rapide » est persuadé que la stérilisation est une phase capitale du traitement et il assure en conséquence l'exploitation des appareils correspondants. L'exploitant d'une station de « filtration lente » a, par contre, tendance à envisager la stérilisation un peu comme un luxe, et sans s'en désintéresser, il risque fort de l'exploiter avec une attention moins soutenue.

Bien entendu, du point de vue statistique, si l'on admet que la « filtration lente » traitant une eau relativement peu polluée est capable de produire une eau complètement stérile pendant de longues périodes, le

stigmatiser un autre aspect particulièrement grave de la fausse sécurité engendrée par la réputation usurpée de supériorité absolue de la « filtration lente », propagée pendant si longtemps par des thuriféraires dénués d'objectivité.

Nous avons vu, par exemple dans le cas de Paris, que les eaux filtrées avant stérilisation contiennent presque en permanence « quelques » B. Coli (quelques dizaines ou quelques centaines). Il est extrêmement dangereux de laisser supposer qu'une telle eau, non stérilisée chimiquement, est plus « sûre » qu'une eau brute contenant un grand nombre de B. Coli. Les techniciens avertis savent et comprennent facilement que le test indirect de sécurité constitué par la numération des B. Coli n'a de sens pratique que sous la forme : « zéro ou un nombre quelconque ». Cependant, nous avons déjà entendu la question : « Combien de B. Coli une eau potable doit-elle contenir au maximum? », sous-entendant qu'une eau renfermant 2.000 B. Coli au litre pourrait être dangereuse, alors qu'à 1.000 B. Coli au litre il n'y aurait plus de risque! La prétendue supériorité de la « filtration lente » appliquée aux eaux très

polluées est de nature à soutenir la croyance en de pareilles inexactitudes.

### G. — ÉLIMINATION DES ALGUES MICROSCOPIQUES

Le problème de l'élimination des algues microscopiques, — du « plankton » — présente une acuité particulière dans le cas des eaux brutes des lacs naturels ou artificiels (barrages - réservoirs) et aussi dans celui de certaines eaux souterraines contenant des crénothrix.

Nous avons décidé, en principe, de ne pas nous occuper de ces eaux dans notre rapport.

Mais il est à remarquer que ce problème peut également prendre une importance considérable dans certains établissements puisant au fil de l'eau, comme le prouve l'exemple des stations de traitement parisiennes installées sur les bords de la Seine et de la Marne. Des poussées de plankton saisonnières, irrégulières en durée, en intensité et par la nature des principales espèces vivantes détectées, perturbent gravement l'exploitation depuis le début du printemps jusqu'à la fin de l'automne, avec une préférence pour ces deux saisons. Ces phénomènes sont surtout sensibles depuis quelques années; ils sont peut-être liés à un enrichissement du milieu vital consécutif à l'accroissement des déversements industriels. Sans doute, aussi, l'augmentation des vitesses de filtration intervient-elle pour une part appréciable dans la sensibilisation de l'exploitation aux gênes issues de cette caractéristique de l'eau brute.

Quoiqu'il en soit, il ne paraît pas douteux que l'élimination des êtres vivants — autres que les bactéries — et qui, bien que microscopiques comme ces dernières, ont des dimensions très supérieures, soit à peu près parfaite, comme celle des matières en suspension, tant dans les installations de « filtration lente » que dans les installations de « filtration rapide ». Il n'y a donc pas lieu d'insister sur ce point. Par contre, les sujétions d'exploitation qui en résultent peuvent être différentes suivant le type d'installation, ainsi que nous le verrons plus loin.

## II. — Sujétions d'exploitation

Nous examinerons successivement quelles sont, en fonction de la nature des installations filtrantes, leurs sujétions de marche et l'importance et la qualification du personnel nécessaire à leur fonctionnement.

### A. — SUJÉTIONS DE MARCHE

Ces sujétions peuvent se diviser en trois catégories, selon qu'elles tiennent

- au traitement de l'eau avant filtration,
- au traitement de l'eau après filtration,
- à la nature du filtre.

#### 1) Sujétions relatives au traitement de l'eau avant filtration.

Nous signalerons, en premier lieu, que la présence du plankton dans l'eau brute interfère, dans les deux cas, avec la conduite du traitement avant filtration.

La préfiltration bien conduite des stations de « filtration lente » peut arrêter la quasi totalité du plankton. Mais, bien entendu, le rythme des lavages s'en ressent très fortement. Par ailleurs, la coagulation opère très difficilement sur le plankton. Celui-ci peut être piégé, mais alors il allège le floc qui décante mal.

Ces difficultés diverses expliquent l'intérêt soulevé par le microtamisage de l'eau brute, très efficace et économique (puisque'il occupe une surface équivalente en ordre de grandeur à un étage de filtration à 600 ou 700 m/j).

Ce prétraitement peut prendre place en tête soit d'une installation de « filtration rapide », soit d'une installation de « filtration lente » pour en faciliter l'exploitation et en abaisser éventuellement le coût de premier établissement (préfiltration plus rapide). Il se développe en Angleterre en tête des installations de « filtration lente » et est examiné avec faveur en Amérique pour compléter les installations de « filtration rapide » aux prises avec le plankton (voir, par exemple le n° 9 du 9 avril 1953 de Engineering News Record).

Nous remarquerons, en second lieu, que le traitement de l'eau avant filtration consiste, dans le cas des installations de « filtration lente », en de simples filtrations faciles à surveiller, et, dans le cas des installations de « filtration rapide », en un traitement de floculation.

Il est certain que, dans le premier cas, les sujétions sont minimales, tandis que dans le second, elles sont très importantes : choix, approvisionnement et préparation du coagulant (et, parfois, de l'adjuvant de la coagulation), modification des taux d'emploi en fonction des variations des caractéristiques de l'eau brute, réglage des doseurs, contrôle du conditionnement du floc et réglage de l'agitation et du brassage nécessaires, évacuation méthodique des boues décantées.

Il est toutefois à remarquer que, dans la mesure où les installations de « filtration lente » tendent à être complétées par des installations permettant également un traitement de floculation de l'eau brute, les sujétions relatives à leur conduite ne peuvent que s'accroître, au moins pendant les périodes de crue, et se rapprocher de celles des installations de « filtration rapide ».

#### 2) Sujétions relatives au traitement de l'eau après filtration.

Le traitement de l'eau après filtration est normalement destiné à assurer sa parfaite épuration bactériologique et à éviter qu'elle ne présente un mauvais goût.

Nous avons vu que, quelle que soit la vitesse de la filtration, la sécurité bactériologique repose, en définitive, sur la stérilisation chimique des eaux filtrées. Aussi doit-on faire en sorte que la permanence de la stérilisation des eaux filtrées soit toujours assurée. La mise au point, qui vient seulement d'être acquise, d'enregistreurs automatiques de chlore résiduel munis de signaux d'alarme permet d'ailleurs de ne pas considérer cette sécurité absolue de la stérilisation comme

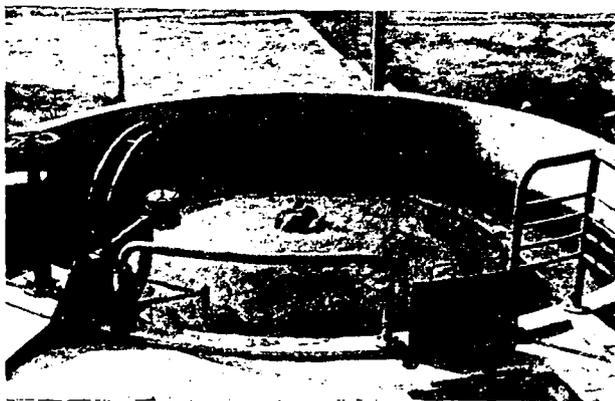


Fig. 12. — Ville de Marseille - Usine de Saint-Barnabé  
Filtre en nettoyage par éjection

une utopie. Il suffit de développer, plus que cela n'a été fait jusqu'ici, l'emploi de ces enregistreurs automatiques.

En ce qui concerne le traitement d'élimination des mauvais goûts des eaux filtrées, les sujétions sont du même ordre, qu'il s'agisse de « filtration lente » ou de « filtration rapide ».

### 3) Sujétions tenant à la nature du filtre.

Les sujétions tenant à la nature du filtre sont en premier lieu celles qui se rapportent au nettoyage des filtres colmatés et au réglage de leur débit, et, en second lieu, celles relatives aux possibilités de gel de l'eau sur les bassins filtrants ou à la présence d'algues dans l'eau de ces bassins.

#### a) Décolmatage des filtres.

Nous avons déjà signalé que la majeure partie du colmatage d'un filtre se produisait à la surface du sable. Et l'on constate, dans la pratique, qu'il suffit d'enlever une épaisseur de sable d'environ 1 cm sur toute la surface du filtre pour que celui-ci puisse être considéré comme nettoyé. D'où la première idée d'un décolmatage par abrasion de la couche filtrante.

Il est clair, cependant, que le colmatage ne se limite pas exclusivement aux couches superficielles de sable

et qu'un nettoyage de toute l'épaisseur de la masse filtrante est, en principe, préférable. D'où la seconde idée du décolmatage de l'ensemble de la couche filtrante, soit par un lavage par éjection, soit par un contre-courant, — contre-courant qui peut être d'eau seule ou d'eau et d'air.

Pour être efficace, toutefois, ce contre-courant doit être suffisamment intense et il doit être réparti d'une manière aussi uniforme que possible à travers toute la couche filtrante. Ces conditions essentielles, compte tenu des possibilités pratiques de réalisation, limitent les dimensions des bassins.

Toutes les installations de « filtration rapide », — dans lesquelles, normalement, les surfaces unitaires des filtres sont relativement réduites comme le montre le tableau 15 —, sont équipées en vue d'obtenir un nettoyage de toute la masse filtrante, en général par contre-courant d'eau et d'air, et plus rarement, par éjection (Marseille - Saint-Barnabé; Mézières-sur-Couesnon).

En ce qui concerne les installations de « filtration lente », il y a lieu de distinguer celles dont la construction remonte à une cinquantaine d'années et celles qui ont été réalisées au cours de la dernière décade.

Dans les premières, les surfaces unitaires des bassins filtrants sont relativement grandes et le procédé normal de nettoyage est l'abrasion de la couche filtrante par raclage à la main. Quelques exceptions toutefois :

— à Nogent-sur-Marne où l'abrasion, sur les pré-filtres, est réalisée mécaniquement par le décolmatateur Boistel.

— à Choisy-le-Roi et à Neuilly-sur-Marne où le sélecteur Sivade permet le nettoyage par un contre-courant d'eau, mais par tranches successives, de toute l'épaisseur de la couche filtrante. (Le schéma de fonctionnement de cet appareil a été indiqué par M. Buydens, dans le rapport qu'il a présenté au cours du Congrès de Paris de 1952 de l'A. I. D. E.).

— à Ivry-sur-Seine et à Saint-Maur où un nettoyage en place des masses filtrantes par lances à eau sous pression a été perfectionné dans toute la mesure du possible, au cours d'une trentaine d'années d'application.

Dans les secondes, les surfaces unitaires des bassins filtrants sont plus faibles, de telle sorte que leur nettoyage peut être assuré par un contre-courant d'eau et d'air tout comme dans les installations de « filtration rapide »

Le tableau 16 montre, en fonction des surfaces unitaires des filtres, quels sont les procédés de nettoyage actuellement employés :



INSTALLATIONS	ANNÉE de construction	VITESSE moyenne actuelle de filtration en m/h	CARACTÉRISTIQUES MOYENNES D'UN FILTRE			
			Section	Longueur ou diamètre en m	Largeur en m	Surface en m <sup>2</sup>
Mézières-sur-Couesnon	1934	7	circulaire	3		7
Marseille (Saint-Barnabé) . . .	1941	11,5	»	4,8		18
Herseange. . . . .	1952	5	rectan- gulaire	2,5	2	5
Nice (Moyenne Corniche) .	1947	3,5	»	5	3	15
Montauban. . . . .	1947	4	»	7,2	2,5	18
Viry-Chatillon . . . . .	1948-1949	4,5	»	7,2	2,5	18
Pontoise. . . . .	1950	4,5	»	7	2,8	18
Fougères. . . . .	1950	4	»	7,2	2,5	18
Aix-en-Provence . . . .	1952	3,2	»	9	3,5	31,5
Casablanca. . . . .	1951-1952	3,6	»	8	4,5	36

Tableau 15

INSTALLATIONS	ANNÉE de construction	VITESSE moyenne actuelle de filtration en m/h	CARACTÉRISTIQUES MOYENNES d'un filtre			MODE de décolmatage
			Longueur en m	Largeur en m	Surface en m <sup>2</sup>	
Romorantin. . . . .	1904	0,2	9,9	7	70	Raclage à la main
Suresnes . . . . .	1905	0,2	27,5	25,2	693	<i>idem</i>
Pau . . . . .	1908	0,3	16	16	256	<i>idem</i>
Villeneuve-sur- Lot . . . . .	1929-1931	0,5	15	7,5	112	Béchage sur une profondeur de 0,30 m et contre courant d'eau.
Nantes . . . . .	1900	0,2			540	Contre-courant d'eau (lances à eau).
Paris (Saint-Maur)	1896/1898-1912	0,4	40	35	1400	<i>idem</i>
Paris (Ivry) . . . . .	1900/1906-1928/1932	0,4	30	23	700	<i>idem</i>
Choisy-le-Roi . . . . .	1896-1942	0,4	33	27,3	900	Contre-courant d'eau (Sélec- teur Sivade).
Dombasle-sur- Meurthe . . . . .	1943	0,2	6	5	30	Contre-courant d'eau et d'air.
Oran . . . . .	1947-1954	0,2	25,2	6,5	164	<i>idem</i>

Tableau 16

Il est par ailleurs à remarquer que dans les installations de « filtration lente », il ne suffit pas de décolmater les filtres, il faut également décolmater les préfiltres et les dégrossisseurs. Étant donné toutefois que la surface unitaire de ces bassins est plus faible, on procède, en général, actuellement, à leur décolmatage par un courant d'eau ou d'air, soit que l'on ait modifié en conséquence les installations les plus anciennement construites, soit que les plus récentes aient été pourvues dès leur construction des dispositifs appropriés.

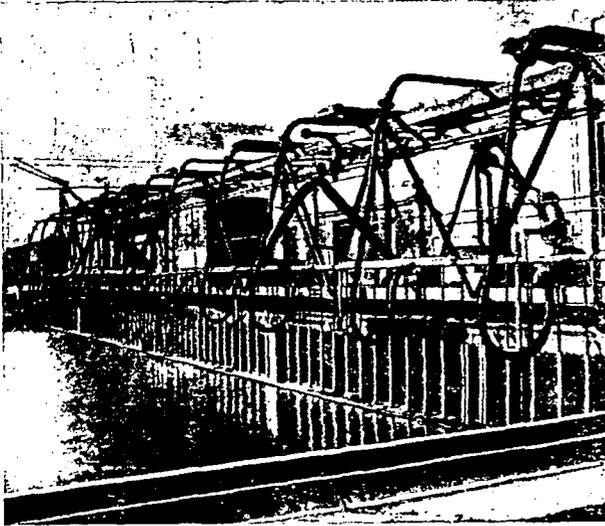


Fig. 13. — Sélecteur Sivade

Il apparaît ainsi que toutes les installations, quel que soit leur type et quelle que soit la vitesse de filtration, tendent à procéder au nettoyage mécanique par contre-courant de leurs bassins filtrants.

Ce procédé présente beaucoup moins de sujétions que l'abrasion à la main de la surface filtrante: meilleur nettoyage du bassin, — diminution du temps d'immobilisation, d'une part, parce qu'il n'est pas besoin de vider l'eau du bassin à chaque nettoyage, et, d'autre part, parce qu'il n'y a pas lieu périodiquement de le recharger en sable lorsque l'épaisseur de celui-ci est devenue insuffisante.

Il peut être tel, en outre, qu'il n'entraîne aucun colmatage rémanent de la masse filtrante, ni aucune perte appréciable de matériaux de filtration à la suite d'une série quasi indéfinie d'opérations de lavage.

Il n'entre pas dans le cadre de ce rapport d'examiner dans le détail les conditions de lavage des filtres. Nous noterons cependant la tendance générale à employer, en France, un contre-courant d'eau et d'air plutôt qu'un contre-courant d'eau seule et nous nous bornerons à constater qu'aucune installation filtrante ne paraît,

à ce jour, avoir essayé d'améliorer les nettoyages en utilisant des détergents ou d'autres agents chimiques.

#### b) Réglage des filtres.

Toutes les installations de « filtration rapide » devraient être pourvues de dispositifs de réglage de débit des filtres.

Quant aux installations de « filtration lente », les plus récentes en sont habituellement pourvues et les plus anciennes tendent à s'équiper en vue de cette régulation. Souvent, d'ailleurs, il ne s'agit que d'un rééquipement; la régulation avait existé à l'origine, mais soit que la réalisation ait été imparfaite, soit que l'accroissement des débits ait rendu les appareils inexploitable et les ait fait abandonner, puis oublier, il n'en avait plus été question pendant des dizaines d'années. Les débits unitaires ayant quadruplé, quintuplé ou sextuplé, les régulateurs sont redevenus indispensables à l'exploitation.

Dans ces conditions, on peut considérer que les sujétions de réglage du débit des filtres tendent désormais à devenir les mêmes, qu'il s'agisse de « filtration lente » ou de « filtration rapide », sous réserve des dispositifs adoptés.

#### c) Possibilité de gel de l'eau dans les bassins filtrants.

Les sujétions dues au gel de l'eau à la surface des bassins filtrants sont de deux sortes : d'une part, on doit craindre les effets des poussées exercées sur les parois des bassins, d'autre part, il y a lieu de redouter l'impossibilité de nettoyage du sable des bassins.

On conçoit que ces sujétions sont fonction de la grandeur unitaire des bassins et qu'elles sont donc plus

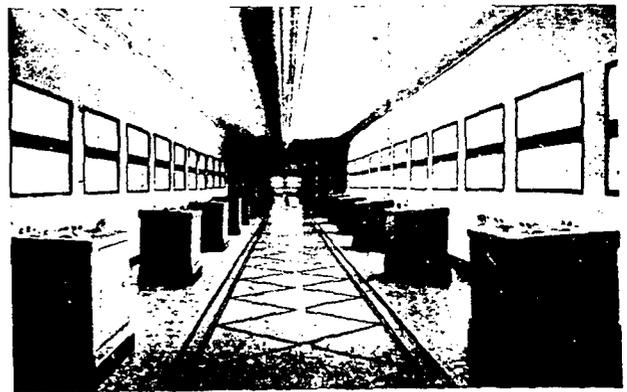


Fig. 14. — Casablanca - Usine de Si Saïd Machou  
Galerie des pupitres de commande automatique  
des filtres rapides

grandes dans les installations de « filtration lente » que dans les installations de « filtration rapide ».

Les filtres rapides présentent, de ce point de vue, un avantage certain dans les pays froids, car leurs dimensions réduites permettent plus facilement de les protéger du gel par une couverture.

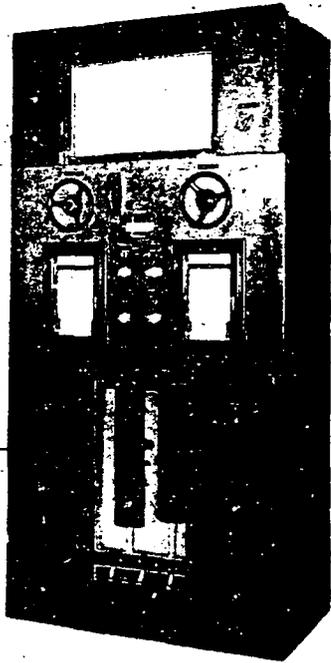


Fig. 15. — Ville de Paris - Usine de Saint-Maur - Poste de télécommande de la régulation des filtres lents  
(Photo P. L. Buer)

d) *Présence d'algues dans les bassins filtrants.*

Deux cas sont à considérer, selon qu'il s'agit du plankton apporté par l'eau brute ou des algues qui se développent dans les bassins filtrants.

Il a déjà été question du *plankton* apporté par l'eau brute, et dont l'accumulation sur les bassins, indépendamment de tout développement sur place, peut apporter une gêne considérable à l'exploitation.

Dans les installations de « filtration lente », si la préfiltration remplit bien son rôle, il ne se pose aucun problème en ce qui concerne les filtres finisseurs. Si, au contraire, la préfiltration, pour une raison ou pour une autre (granulométrie incorrecte, épaisseur de sable insuffisante, etc...) n'arrête qu'une partie du plankton, l'exploitation des filtres devient presque impossible. Le colmatage correspondant à l'apport des

algues qui forment une fine pellicule à forte perte de charge oblige à laver les bassins à une cadence voisine de celle qui est nécessaire sur les étages de tête, mais l'absence, en général, de mécanisation de ce lavage exige un renfort de personnel considérable et la lenteur de l'opération diminue beaucoup la surface filtrante disponible.

Cette différence d'efficacité dans la préfiltration et les difficultés très aiguës qui en résultent dans le cas le moins favorable sont parfaitement illustrées par le comportement pendant ces dernières années, des deux établissements d'IVRY et de SAINT-MAUR, pour Paris, d'une part, et des deux établissements de CHOISY-LE-ROI et de NEUILLY-SUR-MARNE, pour la Banlieue de Paris, d'autre part. La conception de tous ces établissements était à l'origine très voisine, mais la mécanisation du lavage des étages de tête, conduite par des voies différentes, a créé des problèmes d'exploitation radicalement divergents en période de plankton très abondant : dans les uns, la durée des filtres s'avère trop courte cependant que les autres souffrent de la brièveté de leur cycle de préfiltration.

Ces considérations et le rapprochement fait plus haut entre la préfiltration munie d'un lavage moderne et les « filtres rapides », expliquent que, du seul fait du plankton, quand l'eau brute en contient des quantités appréciables, il ne saurait être question dans les stations les plus perfectionnées d'atteindre une vitesse de préfiltration voisine de la vitesse courante des « filtres rapides ».

Par ailleurs, dans les stations de « filtration rapide », la charge d'arrêter le plankton, plus ou moins bien piégé dans des flocons de coagulant qui ne décantent pas, incombe entièrement à l'unique étage de filtration. Le cycle de filtration peut devenir si court que l'exploitation en soit considérablement gênée. Le seul remède en vue paraît être l'adoption d'un microtamisage en tête de l'installation.

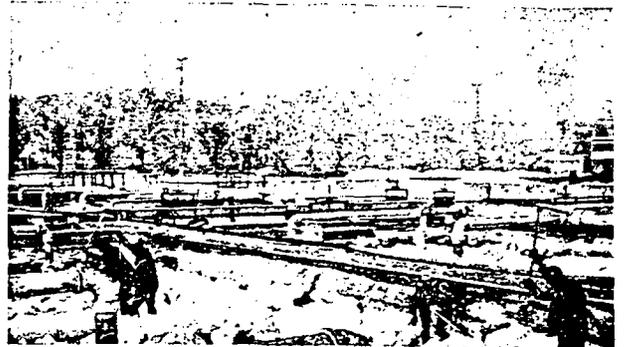


Fig. 16. — Hiver 1956 à Paris

En somme, tant dans les installations de « filtration lente » que dans les installations de « filtration rapide », le plankton apporté par l'eau brute constitue une sujétion importante. Dans les deux cas, le seul remède paraît-être, comme nous l'avons déjà indiqué, l'adoption d'un microtamisage en tête de l'installation.

Quant au développement des algues dans les bassins filtrants, il dépend tout à la fois de la turbidité de l'eau et de son exposition à la lumière solaire.

Les conditions optima de développement des algues se trouvent donc réalisées dans les installations de « filtration lente » où l'eau arrive sur les filtres avec une opalescence déjà faible et y séjourne longtemps.

Cette multiplication des algues, en été et en automne, constitue une sujétion très importante des installations de ce type : ces algues secrètent, en effet, des huiles qui provoquent des mauvais goûts dans l'eau filtrée et il est alors nécessaire d'augmenter la fréquence des nettoyages des filtres. En outre, ces nettoyages sont rendus très laborieux par la nécessité d'évacuer des masses importantes de matière végétale rapidement pourrissable.

Par contre, les installations de « filtration rapide » ne connaissent pas la même sujétion; les algues n'ont pas le temps de se développer dans les filtres, entre deux lavages.

Il convient toutefois de remarquer qu'il arrive parfois, dans ces installations, que des algues se développent dans les décanteurs, surtout si l'insolation est vive. C'est ainsi que dans la station de CASABLANCA on observe, entre mai et septembre, le développement, dans les décanteurs, des algues qui existent seulement sous forme sporulées ou enkystées dans l'eau brute de l'Oum er R'bia. Pour y remédier, on a procédé, dans cette station, « à la couverture de toutes les parties de l'installation où l'eau brute est à l'air libre. D'autres essais sont en cours avec des vernis spéciaux algicides ainsi qu'avec des revêtements spéciaux bimétalliques ».

Dans les installations de « filtration lente », on peut envisager divers moyens pour pallier les inconvénients du développement des algues dans les bassins filtrants.

Leur énumération a été indiquée par M. MATHESON, lors du Congrès de Paris de 1952 de l'A. I. D. E. Nous indiquerons seulement que des résultats satisfaisants ont été obtenus dans ce domaine :

— à CHOISY-LE-ROI en ajoutant périodiquement à l'eau entrant sur les filtres une solution de sulfate de cuivre additionnée de charbon actif.

— à ORAN, où le traitement au sulfate de cuivre est « complété éventuellement par un assèchement et une insolation de la surface du sable pendant quelques heures ».

Nous signalerons enfin qu'

— à VILLENEUVE-SUR-LOT, on a obtenu l'élimination des algues dans les préfiltres en accroissant la vitesse de préfiltration et l'élimination des algues dans les filtres, en disposant au-dessus de ceux-ci un bassin de décantation formant écran.

— à DOMBASLE-SUR-MEURTHER, on n'observe plus d'algues dans les bassins filtrants depuis qu'on a recouvert ceux-ci (420 m<sup>2</sup> au total) par un bâtiment à ossature métallique, parois en briques et verrières bleutées.

## B — IMPORTANCE ET QUALIFICATION DU PERSONNEL D'EXPLOITATION.

Les sujétions de conduite que nous venons d'indiquer se répercutent sur l'importance et sur la qualification du personnel nécessaire à la conduite des installations filtrantes.

### 1) Importance du personnel d'exploitation.

Les renseignements que nous avons reçus ne nous permettent pas de faire des comparaisons précises d'effectifs, en fonction des débits réalisés et suivant le type des installations et la valeur de la vitesse de filtration.

Mais il apparaît que, toutes proportions gardées, les installations de « filtration lente » sont celles qui demandent le plus de personnel.

L'écart des nombres est surtout net si l'on compare les installations de « filtration lente » réalisées il y a une cinquantaine d'années et les installations récentes de « filtration rapide ».

Dans les premières, l'importance des effectifs tient :

— à l'étalement en surface des bassins, — d'où un volume important des maçonneries et un développement correspondant des canalisations;

— au décolmatage des bassins par raclage à la main, — d'où, indépendamment du raclage proprement dit, des transports de sable colmaté et de sable propre, et la marche distincte d'un poste de lavage de sable. (Dans une moindre mesure, le lavage à la lance est également consommateur de main-d'œuvre);

— à la nécessité d'une marge de sécurité pour que l'installation soit en mesure de faire face, dans les plus courts délais, à tout accroissement périodique (gel, algues) ou inopiné des sujétions de la conduite de l'installation.

Dans les secondes, la faiblesse relative des effectifs tient :

— au resserrement en surface des bassins;

— au nettoyage mécanique de ceux-ci;  
— et, d'une manière générale, à une mécanisation poussée qui permet une grande souplesse de marche de l'ensemble de l'installation.

Il y a lieu cependant d'observer que la différence, en nombre, des effectifs dans les deux types d'installation, tend à se réduire dans la mesure où les installations de « filtration lente » tendent à diminuer la surface unitaire de leurs bassins filtrants, à mécaniser leur nettoyage et le réglage de leur débit, et à s'adjoindre un poste temporaire ou non de floculation de l'eau brute, à l'instar des installations de « filtration rapide ».

## 2) Qualification du personnel d'exploitation.

Il est net que si le personnel est moins important en nombre dans les installations de « filtration rapide » que dans les installations de « filtration lente », ce personnel doit avoir, par contre, une qualification moyenne supérieure.

Certes, dans une installation de « filtration rapide », lorsque le mode de lavage des bassins est mécanisé, lorsqu'il a été correctement conçu en fonction des derniers progrès acquis en cette matière, — et ceux-ci sont maintenant assez largement connus pour que personne ne puisse les ignorer — l'exploitation des filtres se réduit à une succession indéfinie d'opérations de lavage très rapides, dont le rythme est déterminé par la seule lecture des appareils indicateurs ou enregistreurs de pertes de charge des différents bassins et qui ne demandent aucune connaissance technique.

Par ailleurs, la stérilisation chimique, au chlore gazeux en particulier, est une autre opération élémentaire de traitement qui peut être réalisée par des opérateurs ne possédant aucune technicité bien particulière.

Par contre, le traitement de coagulation est une opération complexe et capricieuse. Toute nouvelle eau brute à traiter exige la mise au point laborieuse et presque entièrement empirique du mode de traitement à adopter. Un mode de traitement parfaitement valable pendant une longue période peut s'avérer tout à coup beaucoup moins efficace et souvent d'une manière qui demeure déconcertante pour les meilleurs techniciens spécialisés, en raison de l'imprécision des connaissances de base en chimie colloïdale qui subsiste malgré les progrès sensationnels réalisés en ce domaine dans les vingt dernières années.

Remarquons, à ce sujet, que cette difficulté à résoudre les problèmes les mieux connus en ce qui concerne les caractéristiques variables dans le temps de la matière première à traiter rend d'autant plus comique la prétention de ceux qui se font fort de réaliser dans les

délais les plus brefs des stations de traitement où la coagulation prend une large part et où les garanties demandées et promises en fonction du cahier des charges sont basées sur une seule analyse, le plus souvent incomplète, de l'eau brute à traiter.

S'il est bien établi que les installations de « filtration rapide » requièrent l'emploi d'un personnel d'exploitation de qualification technique moyenne supérieure à celle exigée pour la conduite des installations de « filtration lente », il ne faudrait pas cependant en conclure que toute technicité particulière est inutile dans ces dernières.

D'une part, nous avons déjà souligné le fait que de plus en plus nombreuses sont les installations de « filtration lente » qui se complètent de dispositifs permettant, à titre temporaire, un traitement de floculation des eaux brutes.

D'autre part, tout accroissement des rendements — accroissement qui doit être constamment recherché — ne peut être obtenu que des améliorations techniques.

Aussi, nous pensons que, d'une manière générale, la filtration, qu'elle soit « lente » ou « rapide », doit être considérée comme une technique et nous estimons que, comme toute technique de complexité croissante et en continuelle évolution, la filtration exige, dans tous les cas, la présence de véritables spécialistes.

En particulier, de nos jours, un laboratoire de contrôle et de recherches, pourvu d'un appareillage approprié, devrait toujours être le complément de toute installation de filtration « lente » ou « rapide ».

## III. — Prix de revient de la filtration

Nous avons indiqué précédemment que la « filtration lente » était un procédé de traitement onéreux. C'est ici le moment de préciser ce point.

Remarquons tout d'abord que nous ne disposons pas de statistiques précises sur les installations en service et que la création et la marche de chaque installation de filtration posent toujours des problèmes particuliers.

Aussi, pour éviter toute discussion sur la valeur absolue des nombres que nous indiquerons, nous tenons à bien spécifier que ceux-ci ne doivent être considérés que comme exprimant seulement des ordres de grandeur.

Qu'entendons-nous par prix de revient de la filtration? Essentiellement, les charges d'exploitation et l'amortissement des frais de premier établissement, rapportés au traitement d'un m<sup>3</sup> d'eau.

Les charges d'exploitation comprennent, d'une part, les frais du personnel nécessaire à la conduite et à l'entretien des installations et, d'autre part, les frais de produits chimiques.

Les frais de personnel sont plus élevés dans les installations de « filtration lente » que dans les installations

de « filtration rapide » et l'écart est d'autant plus grand que le lavage est moins mécanisé dans les premières. Par contre, les frais de stérilisation chimique sont un peu moins importants, et du moins en principe, les installations de « filtration lente » n'ont pas à supporter les frais de floculant inhérents à la « filtration rapide ».

Aussi, nous admettrons, en première approximation, que, toutes choses égales par ailleurs, les charges d'exploitation sont comparables dans les installations de « filtration lente » et dans les installations de « filtration rapide », et nous les évaluerons à environ 1 fr. par m<sup>3</sup> d'eau produit.

Quant aux frais de premier établissement, ce sont ceux qui correspondent, d'une part, à l'achat des terrains nécessaires à l'implantation des installations et, d'autre part, au coût des travaux de génie civil.

En ce qui concerne les frais d'achat des terrains, nous remarquerons que ceux-ci peuvent varier dans de grandes proportions, notamment si les terrains nécessaires sont placés dans des zones ayant une grande valeur industrielle en raison du voisinage du cours d'eau où le puisage doit être effectué.

Nous noterons, également, qu'à débit égal, il est bien certain qu'une installation de « filtration lente » exige une surface de terrain bien supérieure à celle demandée par une installation de « filtration rapide ». Par suite, même en ne tenant pas compte des difficultés que l'on peut éprouver à trouver dans la banlieue d'une ville les terrains considérables indispensables à l'implantation de bassins filtrants fonctionnant à des vitesses comprises entre 0,2 et 0,4 m/h, il est évident que l'amortissement des frais d'achat des terrains sera beaucoup plus élevé dans le cas de la « filtration lente » que dans celui de la « filtration rapide ».

Reste à comparer le coût des travaux de génie civil. Il y a lieu de considérer :

— dans une installation de « filtration lente », les travaux de construction des filtres et des préfiltres, les seconds seuls étant pourvus d'installations mécaniques de lavage.

— dans une installation de « filtration rapide », les travaux de construction des filtres et de leurs installations mécaniques de lavage ainsi que l'aménagement des floculateurs et des décanteurs correspondants.

Nous admettrons, par ailleurs, que, dans les installations de « filtration lente », la vitesse des préfiltres est le triple de celle des filtres, et que, dans les installations de « filtration rapide », la vitesse de filtration est de 4 m/h et la durée de décantation, de 2 heures. Il s'ensuit qu'un m<sup>2</sup> de préfiltre finisseur correspond, dans les premières, à 1/3 de m<sup>2</sup> de préfiltre et à 8 m<sup>3</sup> de décanteur dans les secondes.

Il semble que, dans ces conditions, on puisse estimer l'ordre de grandeur du coût de construction d'un m<sup>2</sup>

de filtre finisseur, grevé du coût de l'installation de prétraitement, à :

80.000 francs dans une installation de « filtration lente ».

et 200.000 francs dans une installation de « filtration rapide ».

Si l'on tient compte de ce que les collectivités publiques empruntent actuellement en France au taux d'intérêt de 6 % et si l'on fixe la durée d'amortissement à 50 ans, on trouve que l'annuité d'amortissement par m<sup>2</sup> de filtre finisseur est de :

4.475 francs dans une installation de « filtration lente ».

et 12.688 francs dans une installation de « filtration rapide ».

Or, en prenant, par exemple, dans les deux cas, l'hypothèse conduisant au meilleur prix de revient — hypothèse qui consiste à supposer que les bassins travaillent à longueur d'année à leur vitesse théorique de fonctionnement — on constate qu'un m<sup>2</sup> de filtre finisseur permet de fournir en un an environ :

910 m<sup>3</sup> d'eau dans une installation de « filtration lente » fonctionnant à 2,5 m/jour

et 35.000 m<sup>3</sup> d'eau dans une installation de « filtration rapide » fonctionnant à 4 m/h soit 96 m/jour.

Il en résulte que les seuls frais d'amortissement du capital de premier établissement relatif aux travaux de génie civil grèvent chaque m<sup>3</sup> d'eau produit d'un coût sensiblement égal à :

5 francs dans l'installation de « filtration lente ».

et 0 franc 40 dans l'installation de « filtration rapide ».

Par suite, en comptant les charges d'exploitation, mais sans tenir compte de l'amortissement des frais d'achat des terrains nécessaires, le prix de revient du m<sup>3</sup> d'eau filtrée peut être estimé à :

6 francs dans l'installation de « filtration lente ».

et 1 franc 40 dans l'installation de « filtration rapide ».

Il apparaît donc que, toutes charges comprises, on puisse conclure que la « filtration lente », à une vitesse de 2,5 m/j est un procédé 4 à 5 fois plus onéreux que la « filtration rapide », à une vitesse de 4 m/h.

Il convient cependant de remarquer que cet écart tend à se réduire au fur et à mesure de l'augmentation des vitesses pratiquées dans les installations de « filtration lente », — ce qui explique d'ailleurs que cette augmentation ait été progressivement réalisée.

Cette tendance économique se justifie, du reste, du point de vue technique, si l'on se rappelle que, dans les limites de vitesses comprises entre 2,5 et 10 m/j, les caractéristiques de l'eau filtrée ne varient pas sensiblement.

## CONCLUSION GÉNÉRALE

Au terme de notre étude, il semble que l'on puisse dégager les conclusions suivantes :

1° La « filtration lente » et la « filtration rapide », au sens où il faut entendre ces deux modes de traitement selon les définitions que nous en avons données, sont, toutes deux, également incapables, sans adaptations particulières, d'introduire des corrections appréciables dans la composition chimique des eaux.

On peut cependant noter que certains appareils modernes utilisés en « filtration rapide » — les floculateurs — décanteurs à voile de boue — se prêtent très bien à un traitement combiné d'adoucissement. (ils se sont d'ailleurs développés à l'occasion de problèmes d'adoucissement).

2° La « filtration lente » et la « filtration rapide » donnent des résultats peu satisfaisants — quoique légèrement meilleurs dans le cas de la « filtration lente » — en ce qui concerne l'élimination des saveurs et des odeurs; mais il est à remarquer que cette élimination doit surtout être attendue, dans les deux cas, d'une part, de l'application de traitements complémentaires appropriés et, d'autre part, de l'observation d'une réglementation sévère sur les déversements d'eaux résiduaires en rivière.

3° La « filtration lente » est inapplicable dans le cas d'une eau brute présentant un défaut de turbidité dû à la présence, temporaire ou permanente, de particules colloïdales stables. Il est, en effet, pratiquement impossible, dans ce cas et en l'état actuel de nos connaissances, d'échapper à la nécessité d'une coagulation chimique.

Remarquons toutefois que ceci n'est valable que dans la mesure où un critère de qualité raisonnable s'appliquant à ce point de vue impose réellement la sujétion d'un traitement de correction.

Il est, par ailleurs, possible, pour pallier cette déficience des installations de « filtration lente », d'envisager de procéder à une coagulation en tête de l'installation, mais il peut en résulter des difficultés d'exploitation qui risquent d'être insurmontables, à moins que l'installation ne réponde à certaines conditions qu'il ne serait pas inutile de définir, bien que la technique de la « filtration lente » ait rarement été examinée sous cet angle.

D'autre part, dans cette hypothèse, l'exploitation devient plus difficile. Il en résulte que si cette introduction de la coagulation chimique temporaire n'est pas un obstacle dans les installations de « filtration lente » qui sont munies d'un personnel qualifié, il peut en aller différemment dans celles qui sont dépourvues de ce personnel. On retombe dans ce cas, au moins temporairement, dans les difficultés qui sont le lot des trop nombreuses stations de « filtration rapide » mal

conduites, avec toutefois une atténuation due à leur intermittence. Il ne reste alors d'autre solution que de tolérer qu'en période difficile, la limpidité de l'eau filtrée soit moins bonne que la limite énoncée par le Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France. Si l'on considère, du reste, le grand nombre de cas où, en fait, il en est ainsi, sans que cela présente d'inconvénients graves, tandis qu'il en résulte un très grand avantage sur le plan économique (économie de coagulant dont le prix de revient est loin d'être négligeable), il y a lieu de se demander s'il ne vaudrait pas mieux normaliser cette solution que de la passer systématiquement sous silence.

4° La « filtration lente » est un mode de traitement à prohiber totalement lorsque l'eau brute présente une coloration qui résulte de la présence, en général presque permanente, de composés organiques de nature colloïdale.

Toutes les remarques faites au paragraphe précédent peuvent, d'autre part, être transposées dans ce cas.

5° Les installations de « filtration lente » sont, sans aucun doute, plus faciles à conduire que les installations de « filtration rapide », mais il est non moins certain que l'on commet une grave erreur en pensant que la robustesse et l'apparente simplicité des premières excluent totalement la présence du personnel qualifié jugé nécessaire pour les secondes.

La production rationnelle et économique d'une eau potable est toujours une opération complexe qui exige le concours de spécialistes.

6° La « filtration lente » et la « filtration rapide » doivent toujours être suivies d'un traitement de stérilisation chimique, — constatation qui interdit a priori de rechercher une limite de pollution au-dessus de laquelle la « filtration lente » deviendrait obligatoire.

7° Le choix entre « filtration lente » et « filtration rapide » est conditionné bien moins par la teneur en B. Coli des eaux brutes que par leur teneur en particules colloïdales.

8° La « filtration lente » coûte relativement plus cher que la « filtration rapide ».

9° La « filtration rapide » est un traitement complexe qu'il est très difficile de mettre au point. Il n'y a pas de solution passe-partout, basée sur l'emploi d'un coagulant toujours le même, à dose moyenne, dans un floculateur-décanteur plus ou moins perfectionné de capacité moyenne. Les installations mal conçues sont la source de déboires redoutables auxquels il est fort onéreux de remédier a posteriori.

Une « filtration lente », avec ses limitations, vaut mieux, tout compte fait, qu'une « filtration rapide » insuffisamment étudiée, et à défaut de temps disponible pour l'étude, la première devrait être préférée à la seconde.

\*\*\*

Quoi qu'il en soit, ces diverses considérations permettent, à notre avis, de conclure sans hésitation que la « filtration lente » est un mode de traitement actuellement dépassé et qu'il paraît difficilement concevable qu'on puisse encore prévoir la construction d'installations entièrement neuves de « filtration lente », sauf cas tout à fait exceptionnel et compte tenu du fait qu'aucune station de traitement n'est si urgente à construire qu'on ne puisse soigneusement l'étudier.

Du reste, nous avons déjà indiqué qu'il n'existait plus, en France, d'installations de « filtration lente » pure, et les graphiques joints au présent rapport montrent l'importance relative notable déjà acquise par la « filtration rapide », en dépit de son apparition plus récente, sauf en ce qui concerne les très grandes installations, où le poids des stations de la région parisienne — qui sont les plus anciennement construites — fait apparaître une prédominance encore marquée de la « filtration lente ».

Cette conclusion sans nuance pourrait terminer notre comparaison entre la « filtration lente » et la « filtration rapide ». Mais il est nécessaire de revenir sur le fait que la « filtration rapide » est un traitement complexe, nécessitant la mise en œuvre d'un ou de plusieurs produits chimiques dont l'approvisionnement peut être, en outre, difficile ou même très difficile dans certains pays sous-développés économiquement et dans les territoires éloignés de leur Métropole. Il s'ensuit que cette technique ne peut être considérée comme pleinement satisfaisante et représentant, à coup sûr, le terme d'une évolution.

Même dans un pays très évolué comme la France, on constate qu'il existe un grand nombre d'installations, surtout de faible importance, ne disposant pas de techniciens qualifiés d'exploitation. L'idéal, certes, serait d'obtenir que cette situation disparaisse par une énergique politique d'information auprès des Municipalités. Mais l'espoir de retourner une telle tendance implique une longue patience et, en attendant, c'est un devoir impératif pour les spécialistes de rechercher des techniques frustes adaptées à la situation générale. Il est pour cela naturel de viser à la suppression pure et simple des opérations qui s'avèrent plus nuisibles qu'utiles quand elles sont mal conduites et dont la nécessité objective n'est pas évidente.

De ce point de vue, la filtration (sans qualification) est une opération élémentaire de traitement idéale. Et depuis très longtemps, c'est à la filtration qu'on a eu

recours lorsque l'on a voulu épurer les eaux brutes de rivière. Mais il faut bien se rendre compte que le filtre, considéré en lui-même, est un instrument sans souplesse en regard des variations continues des nombreuses caractéristiques des eaux à filtrer. Une fois définis ses paramètres de base (vitesse de filtration, granulométrie et épaisseur du matériau filtrant), le filtre demeure pratiquement inadaptable aux changements de la nature de l'eau.

Comment pallier ce manque de souplesse du filtre? Il n'y a d'autre solution, semble-t-il, que d'agir sur l'eau à filtrer afin que celle-ci se présente, en arrivant sur le filtre, avec des caractéristiques partiellement régularisées.

Ainsi, pour résoudre correctement le problème de la filtration, il apparaît indispensable de distinguer, d'une part, le problème du filtre finisseur, et, d'autre part, le problème de la préparation de l'eau avant sa filtration.

Nous pensons que cette décomposition du problème de la filtration et, en particulier, cette notion de la préparation méthodique de l'eau avant filtration constituent l'apport essentiel que ces dernières années ont apporté dans la technique de l'épuration des eaux par filtration.

La confrontation « filtration lente » et « filtration rapide » a eu le grand intérêt de conduire à cette analyse du problème de la filtration. Il convient maintenant, selon nous, de dépasser ce stade de l'étude, de se dégager d'une terminologie qui nous semble périmée, et d'axer, à l'avenir, toutes les recherches sur la filtration suivant la nouvelle direction que nous venons d'indiquer, — étant bien entendu, par ailleurs, que toute eau filtrée doit être stérilisée chimiquement avant sa mise en distribution.

\*\*\*

En considérant comme acquis que tout processus d'épuration des eaux de rivière doit toujours se terminer par une filtration et par une stérilisation, il s'agit désormais d'étudier, tout à la fois, les caractéristiques optima du filtre finisseur et les meilleures conditions de préparation de l'eau avant passage sur ce filtre, qui sont deux problèmes intimement liés.

En ce qui concerne le filtre finisseur, il y a lieu de rechercher un compromis entre les dimensions du filtre, la vitesse de filtration et l'épaisseur et la granulométrie du matériau filtrant de telle sorte que, d'une part, l'eau effluente satisfasse aux critères exigés et que, d'autre part, la durée des cycles de filtration entre deux lavages demeure toujours techniquement et économiquement acceptable.

Quant à la préparation de l'eau avant son admission sur le filtre finisseur, il semble bien que toutes les solutions envisagées doivent comprendre une possibilité de coagulation des eaux brutes, puisque celles-ci comportent toujours, sauf cas exceptionnels, des périodes de turbidité colloïdale plus ou moins prolongées et plus ou moins accentuées et que, seul, un traitement de « décolloïdation » est alors capable d'abaisser cette turbidité à la valeur recherchée.

La « filtration rapide » est une solution de ce double problème sur laquelle ont été accumulées des expériences poursuivies pendant un demi-siècle dans le monde entier. Cependant, cette technique est encore perfectible comme le montrent toutes les recherches tendant à accroître les vitesses de filtration au delà des vitesses actuellement classiques, par des améliorations apportées au décanteur (forme et aménagement intérieur) et au filtre (surtout à son mode de lavage) et par une meilleure connaissance des phénomènes de floculation-décantation (adjuvant de coagulation, décanteurs accélérés à voile de boues ou lamellaires). En outre, nous avons signalé que la combinaison de la « filtration rapide » avec un microtamisage de tête était susceptible de s'imposer lorsqu'un abondant plankton crée des difficultés d'exploitation.

La technique de la « filtration rapide » a, en sa faveur, des frais de premier établissement relativement réduits et des possibilités d'application dans un grand nombre de cas. Mais, en contre-partie, la conception du traitement en fonction d'une eau déterminée ainsi que la conduite de l'exploitation sont délicates et la dépense de coagulant n'est pas négligeable.

Certes, la « filtration rapide » perfectionnée s'imposera toujours pour les eaux contenant, en quasi permanence, des colloïdes à doses sensibles, puisque la coagulation est, jusqu'ici, l'opération spécifique d'élimination des colloïdes.

Mais, en dehors de ce cas, ne peut-on envisager d'autres solutions, étant entendu que toute autre solution à étudier ou à perfectionner doit tenir compte des avantages et des inconvénients de la « filtration rapide » si elle veut, contrairement à la « filtration lente », pouvoir lutter avec chance de succès contre sa rivale triomphante ?

Une première solution, qui ne semble pas avoir été encore bien étudiée, pourrait consister à utiliser une installation de filtres rapides précédés de décanteurs, dans laquelle le traitement de coagulation n'interviendrait qu'en cas de besoin.

Nous constatons, d'autre part que, dans des installations de « filtration lente », les vitesses de filtration des filtres finisseurs ont été empiriquement augmentées jusqu'à des valeurs comprises entre 10 et 15 m/jour et nous observons qu'à ce niveau les frais d'amortissement des installations tendent à se rapprocher des frais correspondants dans les stations de « filtration rapide ».

Une station neuve dérivée des anciennes stations à deux ou plusieurs étages devrait, à l'évidence, comporter des filtres finisseurs encore beaucoup plus rapides. Il est d'ailleurs nécessaire, du point de vue économique, de franchir un échelon de vitesse important, car des bassins seulement un peu plus rapides deviendraient très onéreux dès le moment où il serait nécessaire de les munir en dépit de leur surface encore relativement grande, d'un système de lavage mécanisé.

Du reste, si l'on tient compte de l'obligation de la stérilisation des eaux filtrées, il n'y a aucune raison, semble-t-il de se montrer timide dans cette voie de l'augmentation des vitesses de filtration.

Sans doute existe-t-il déjà en France quelques stations récentes qui comportent deux étages de filtration fonctionnant tous deux à des vitesses moyennement élevées et pourvus chacun d'un système de lavage mécanisé. Mais ne convient-il pas de poursuivre dans cette voie avec davantage de hardiesse et de systématique ?

Le but ultime à atteindre serait l'utilisation de filtres finisseurs aussi rapides que les « filtres rapides » plus ou moins standardisés pour le moment sur la technique classique américaine, c'est-à-dire fonctionnant aux environs de 120 m/jour.

Est-il utopique d'espérer que l'exploitation de tels filtres finisseurs pourrait être rendue viable par une préparation de l'eau essentiellement basée sur une autre filtration ?

Une telle station, — dont il n'existe à notre connaissance aucun exemple en exploitation — devrait comporter une préfiltration plus lente que la filtration proprement dite, — ce qui semble logique puisque le premier étage, organe de « dégrossissage », se trouve dans une situation plus exposée que le second et doit donc être plus « robuste », c'est-à-dire avoir des cycles de filtration plus longs qui sont appréciés dans les périodes de fort pouvoir colmatant de l'eau brute. Cet étage serait cependant suffisamment rapide pour permettre un lavage mécanique. Enfin, il y aurait peut-être lieu d'envisager la protection des préfiltres par un microtamisage en tête de l'installation.

Cette station, dont le coût de premier établissement serait, semble-t-il, aussi économique que celui d'une station de « filtration rapide », serait d'autre part, bien plus facile à exploiter par du personnel peu qualifié. En outre, la présence de deux étages de filtration constituerait toujours une sécurité appréciable contre les variations de la qualité de l'eau produite par une conduite peu soignée au moment des remises en service des bassins après lavage, puisque l'eau traverserait toujours au moins un bassin en fonctionnement normal.

Il est cependant bien certain qu'une station de traitement uniquement composée de filtration et de stérilisation connaîtrait le même handicap que les stations de « filtration lente », dans les périodes — en général assez courtes — de turbidité colloïdale des eaux normalement incolores et peu turbides.

On peut, cependant, essayer de pallier cette difficulté, notamment :

— en fixant un critère de turbidité raisonnable auquel une double filtration pourrait faire face par elle-même.

— en utilisant une coagulation temporaire qui n'amènerait pas de troubles dans l'exploitation pourvu que cela ait été prévu dans le projet de l'installation et qui pourrait être relativement facile à conduire parce

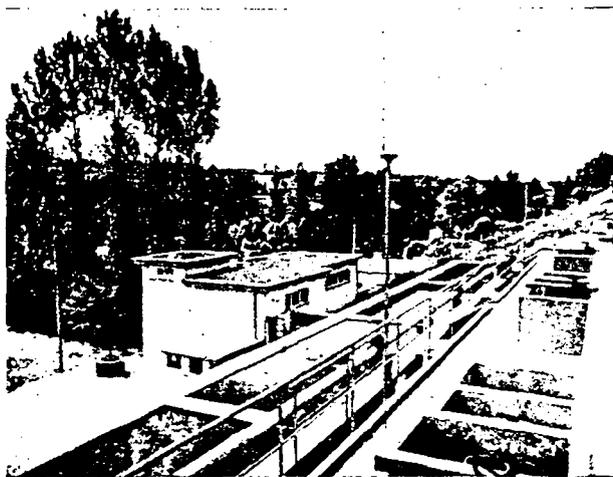


Fig. 17. — Saint-Maixent - Préfiltration à 4,8 m/h  
Filtration à 3,6 m/h

que l'opération élémentaire de coagulation garderait une importance secondaire dans l'ensemble du processus de traitement, contrairement à ce qui se produit dans le cas de la « filtration rapide » type.

Le premier moyen semble acceptable dans le cas des petites agglomérations où la simplicité prime la perfection, quand celle-ci n'est pas indispensable à la sécurité de l'hygiène publique. Il apparaît, en effet, préférable d'accepter alors quelques courtes périodes de moindre limpidité plutôt que d'imposer un traitement de coagulation qui, mal conduit, risquerait de multiplier les périodes de forte opalescence.

Le second moyen, valable pour les grandes installations, est le plus difficile à mettre au point. Il suppose l'admission directe du floc sur les préfiltres aux époques les plus critiques de l'exploitation. L'expérience de la Ville de Paris, employant, le cas échéant, le perchlorure de fer comme coagulant dans ses installations de « filtration lente » montre qu'il n'y a pas impossibilité absolue. Le problème est entièrement neuf, puisqu'il s'agit, à l'inverse du cas où l'on dispose de décanteurs, d'obtenir un floc qui pourrait éventuellement mal décanter, sinon flotter, mais qui doit être aussi peu colmatant que possible.

\*\*\*

Nous nous bornerons à énumérer ces quelques points. Il serait hors du cadre de notre rapport de les développer. Telle est, du moins, la direction dans laquelle nous pensons que devraient se poursuivre à l'avenir les études sur la filtration des eaux, par delà la controverse qui nous paraît maintenant vaine, entre les vocables « filtration lente » et « filtration rapide ».