THÉORIES MODERNES DE LA FILTRATION

PAR Ch. DUBIN *

Le rapport qui va suivre a pour but de diffuser un rapport du professeur Mintz, assistant-directeur de l'Académie d'Economie Municipale de Moscou.

Ce rapport a été présenté en octobre 1966, au Congrès International de l'Association des Distributeurs d'Eau à Barcelone.

Le professeur Mintz avait lui-même reçu l'aide de plusieurs rapporteurs nationaux :

- Prof. R. Eliassen (U.S.A.);
- Dr K. Ives (G.-B.);
- Dr C.F. Lerk (Hollande);
- Dr B. Lundberg (Suède);
- Dr V. Mackrle (Tchécoslovaquie).

Ces rapporteurs avaient à répondre au questionnaire suivant :

- 1° Quel est votre avis sur la nature physique du processus de filtration dans les filtres à sable rapides?
- 2° Quelles sont les données mathématiques et expérimentales les plus intéressantes pour la pratique de la filtration rapide?
- 3° La théorie de la filtration peut-elle apporter une aide appréciable aux questions pratiques concernant la construction et le fonctionnement des filtres?
- 4° Quels sont les problèmes importants nécessitant un futur développement de la théorie?
- 5° Références sur ces problèmes.

Il est clair que le but de ce questionnaire n'est pas d'épuiser la question des filtres rapides, mais d'établir des considérations théoriques sur le pro-

cessus de clarification d'une eau contenant des particules solides en suspension.

Il est bien connu que la filtration à travers des milieux poreux est largement employée dans le but de séparer les particules solides des liquides.

On peut dire qu'il y a deux types différents de procédés :

- 1° La filtration à travers une couche fermée en surface par les particules solides elles-mêmes;
- 2° La filtration à travers des lits formés d'une substance granuleuse, les particules solides étant retenues dans l'épaisseur du milieu poreux.

Le premier procédé est surtout utilisé dans l'industrie chimique, dans le cas de concentrations importantes des matières en suspension.

Le second est utilisé pour les faibles concentrations, principalement pour le traitement de l'eau.

Cependant, dans certaines conditions (milieu filtrant très fin, présence d'algues), on aura à la surface du lit filtrant une sédimentation qu'il importe d'éviter, sous peine d'une augmentation rapide de la perte de charge et, par conséquent, une diminution non moins rapide du débit du filtre.

De nombreux travaux ont été consacrés à la filtration à travers les couches superficielles; les recherches sur la filtration à travers des couches granuleuses sont considérablement plus restreintes.

Bien que la filtration rapide soit utilisée depuis plus de 60 ans, ce n'est que récemment qu'ont été mis en évidence les facteurs fondamentaux déterminant le processus de la filtration, sa nature physique, l'effet du traitement chimique, de l'épaisseur et de la granulométrie du lit filtrant.

La vitesse de filtration qui détermine les dimensions et le prix de revient d'un filtre a été fixée à

* Ingénieur en Chef à la Compagnie Générale des Eaux.

5 ou 6 m/h, en accord avec les données expérimentales.

En vérité, les filtres étaient construits en dehors de tout calcul concernant leur fonctionnement.

Il est apparu évident qu'il était nécessaire d'étudier le mécanisme de la filtration, étant donnée la tendance générale à l'augmentation de la vitesse de filtration, et à l'utilisation de flocculants.

L'étude en laboratoire et sur les filtres eux-mêmes a permis de développer certains aspects du problème. Cependant, il reste encore des questions peu étudiées.

Nature physique de la filtration rapide

R. Eliassen a dressé une liste des facteurs qui régissent la filtration :

Mécanisme de l'élimination.

1. Filtrage :
 - a) mécanique,
 - b) probabilité de contact;
2. Sédimentation;
3. Adsorption chimique :
 - a) par liaison;
 - b) par interaction;
4. Adsorption physique :
 - a) forces électrocinétiques,
 - b) forces de Van der Waals;
5. Adhésion;
6. Action biologique;
7. Flocculation.

Construction et fonctionnement du filtre.

1. Densité du milieu filtrant;
2. Granulométrie;
3. Porosité;
4. Epaisseur;
5. Vitesse de filtration;
6. Charge normale;
7. Concentration en matières solides de l'eau à filtrer;
8. Consistance et caractéristiques du floc;
9. Température, densité et viscosité du fluide.

Cette liste montre que la filtration à travers des filtres rapides, dont la construction est relativement simple, n'est pas un phénomène simple.

R. Eliassen fait remarquer que l'étude de l'influence réciproque des différents facteurs reste encore à faire.

A l'heure actuelle, les filtres rapides sont largement utilisés. On les emploie dans l'industrie pour une préfiltration, pour améliorer les effluents, comme préfiltres dans les distributions d'eau et, principalement, pour la filtration d'eaux chimiquement traitées.

On peut remarquer que, dans ce dernier cas, les différents auteurs sont d'accord sur le processus de la filtration : Ils considèrent qu'il s'agit d'un

processus physicochimique d'adhésion des particules aux grains du milieu filtrant, et aux particules précédemment retenues.

K. Ives fait remarquer que les particules à éliminer sont plus petites que les vides moyens du milieu filtrant. Elles sont retenues par adhérence aux grains du milieu filtrant. Cette adhérence est due à une faible charge électrique des particulaires, comparable aux forces d'attraction intermoléculaires. Le rayon d'action de ces forces est extrêmement faible, de l'ordre de $10^{-2}\mu$, de telle sorte qu'elles sont sans action sur la structure du milieu filtrant. Ces forces commencent à agir quand une particule entre en contact avec la surface d'un grain ou d'une particule déjà captée. La probabilité de tels contacts est déterminée par la nature tortueuse des canaux de vides, par la séparation et la réunion continues des filets liquides, aussi bien que par le mouvement brownien des particules colloïdales, ou les forces gravitaires agissant sur les particules plus importantes.

La figure 1 donne une intéressante illustration des dimensions relatives des particules et des vides entre les grains de sable.

V. Mackrle attribue l'adhésion des particules à la surface des grains de sable aux forces de Van Der Waals.

C. Lerk mentionne que si les particules en suspension sont très petites, en comparaison avec les dimensions des vides, comme c'est le cas dans les filtres rapides, l'action du filtre ne peut être expliquée par un filtrage mécanique. Il suppose que l'influence principale est due aux forces électrocinétiques.

Le Dr Mintz et ses collègues d'U.R.S.S. ont donné de longs développements (publiés en 1955) sur ces questions.

Ces études ont montré que l'adhésion des particules en suspension à la surface des grains filtrants et aux particules précédemment captées, est une sorte de coagulation-flocculation. L'interaction (attraction ou répulsion) des particules en suspension et des grains filtrants est causée par les mêmes forces, de même que l'interaction des particules d'une solution ou suspension colloïdale. L'intensité de l'adhésion dépend principalement de la dose de coagulant introduit dans l'eau. Si la dose est insuffisante, il reste dans l'eau une certaine quantité de particules stables incapables d'adhérer.

La dose minimale de coagulant nécessaire pour assurer le degré requis de clarification, est très souvent inférieure à celle qui est nécessaire pour former un floc important à décantation rapide. Lorsqu'on traite des eaux de faible turbidité, la dose est très inférieure.

En opposition avec la théorie mécanique de la filtration qui explique l'action du filtre par les forces de gravité ou les forces centrifuges, la théorie physico-chimique met en évidence les propriétés de surface des particules et non leurs dimensions.

La théorie physicochimique en U.R.S.S. a résulté de l'usage étendu de filtres de contact pour le traitement des eaux colorées ou de faible turbidité. Dans ces installations, la filtration s'accomplit sans chambre de flocculation ni bassin de décantation.

Le succès obtenu en ajoutant des flocculants à molécules lourdes en petite dose avant la filtration, justifie la théorie physicochimique.

**

Dans les filtres rapides, la concentration des particules en suspension varie avec la profondeur et le temps (fig. 2).

La clarification par chaque couche élémentaire augmente au début, puis ensuite diminue continuellement. Après une période de filtration suffisamment longue, l'arrêt des particules par les couches supérieures cesse pratiquement.

A mesure que le rôle des couches supérieures diminue, celui des couches inférieures augmente. L'épaisseur du lit filtrant nécessaire pour l'élimination des particules solides devient plus grande. Finalement, il arrive un moment où l'épaisseur totale du lit filtrant n'est plus suffisante pour assurer une filtration correcte et la concentration des particules dans l'effluent augmente rapidement.

Le temps durant lequel un milieu filtrant donné est capable d'assurer une filtration correcte est appelé le temps de protection du lit filtrant (t_1). Quand ce temps est dépassé, la qualité de l'effluent commence à baisser.

Sans nul doute, la baisse de la qualité de protection du lit filtrant est due à l'accumulation des dépôts dans les vides. Mais tous les auteurs ne sont pas d'accord sur l'explication à donner de l'effet de cette accumulation.

Certains attribuent la diminution de l'efficacité du filtre à la modification de la structure géométrique du milieu filtrant. D'autres voient la raison principale de ce phénomène dans une modification des conditions dynamiques de la filtration, et considèrent que la cohésion du sédiment est de première importance.

Ce problème controversé est, sans question, fondamental dans la théorie de la filtration. Ces points de vue contradictoires ne peuvent s'expliquer que par une étude suffisante du processus de la filtration, et par un faible échange d'information entre les chercheurs.

Ives, Lerk et Mackrle appartiennent au premier groupe, Mintz au second.

Ives considère que, puisque la vitesse interstitielle augmente et que la surface disponible dans les pores du filtre et l'importance du flux et du reflux du courant diminuent, il en résulte une probabilité plus faible pour les particules d'être absorbées par adhérence.

Lerk attribue la diminution de l'efficacité du filtre à l'augmentation de la vitesse dans les pores, car, pour une vitesse constante de filtration, la vitesse dans les pores augmente lorsque le volume libre des pores diminue.

Mintz considère que les dépôts accumulés dans les différentes couches du filtre ont une cohésion différente. Sous l'action des forces hydrodynamiques dues au courant circulant à travers le milieu filtrant, et qui augmente avec la perte de charge, cette cohésion est partiellement détruite, des particules plus faiblement adhérentes se détachent des grains. Un léger floc est ainsi transmis vers les couches inférieures. L'effet de clarification produit par chaque couche élémentaire peut être considéré comme le résultat de deux processus opposés : séparation des particules et de l'eau, et fixation de celles-ci sur les grains de sable, puis arrache-

ment de ces particules et transfert de celles-ci par l'action du courant.

Ives et Mackrle critiquent la théorie dynamique : Ives écrit :

« Nous pensons que, si la vitesse de filtration reste constante, et même si elle diminue, les particules adhérentes ne peuvent être détachées en nombre suffisant pour être de nouveau en suspension. Si les forces hydrodynamiques ont permis qu'elles adhèrent lors d'un premier contact, il est inconcevable qu'elles puissent ensuite arracher ces particules, à moins que les forces d'adhésion diminuent, ce qui n'est pas possible physicochimiquement. En tout cas, il y a une évidence expérimentale directe qui interdit un tel mécanisme d'arrachement. »

Mackrle écrit :

« L'évidence expérimentale la plus convaincante de ce que l'effet d'arrachement est négligeable, a été présentée par Stanley, qui a mesuré l'importance des particules captées dans chaque couche avec l'aide des rayons γ ; pendant le passage d'eau propre à travers un filtre encrassé, l'activité γ et, par conséquent, la concentration des particules, resta inchangée. »

En opposition à ces critiques, Mintz cite d'autres expériences :

Une expérience illustrant le phénomène d'arrachement peut être réalisée dans n'importe quel laboratoire, sans matériel compliqué.

Un tube de verre de 3,3 cm de diamètre et de 24 cm de haut est rempli à moitié de sable de 1,5 mm.

1/

2/

De l'eau dont l'indice de couleur est égal à 100 est filtrée, la vitesse de filtration est de 8,25 m/h, et la dose de coagulant de 12,5 mg/l (en Al_2O_3).

Le coagulant a été ajouté à l'entrée de la colonne, de telle sorte que la durée de contact de l'eau et du coagulant, dans la partie supérieure du tube était de 46 secondes et que, dans la couche de sable, elle était approximativement de 7 secondes. L'eau franchissait la colonne en 98 secondes. L'eau qui entraînait dans la couche de sable et celle qui en sortait étaient observées visuellement.

Durant l'expérience, l'eau à l'entrée ne contenait pas de floc apparent, en raison évidemment de ce que le temps de rétention était très court. Durant les 15 premières minutes, il n'y avait pas trace de floc dans l'effluent. Mais, par la suite, un floc commença à apparaître.

Peu à peu, avec l'accumulation des sédiments dans le filtre, et avec l'augmentation de la perte de charge, le floc d'arrachement augmentait. Le floc des particules arrachées était rendu visible par un rayon de lumière transversal. La filtration de l'eau colorée ayant été arrêtée, de l'eau claire fut envoyée à travers le filtre encrassé. Le phénomène d'arrachement du floc s'arrêta. L'arrachement des floes ne peut avoir lieu que pendant une formation continue des sédiments, ou quand la perte de charge augmente, c'est-à-dire quand les forces antagonistes augmentent.

Ensuite, le débit de l'eau claire est augmenté pour simuler l'augmentation de vitesse à travers les pores en raison de l'encrassement. Car, si de l'eau contenant des particules est filtrée, les pertes de charge augmentent continuellement, tandis que

durant la filtration d'eau claire à la même vitesse, les pertes de charge restent stables. Alors, à chaque augmentation de vitesse, les pertes de charge commencent par augmenter, puis diminuent pour finalement se stabiliser. Chaque changement des pertes de charge était accompagné d'un intense transport de floc. L'eau et son sédiment étaient recueillis dans un récipient. Le sédiment était filtré, séché et pesé. L'expérience était achevée par un lavage complet du sable. Les résultats sont résumés dans le tableau ci-contre.

Une telle expérience montre que le sédiment rassemblé dans le filtre a une structure de cohésion non uniforme. La vitesse du courant à travers les pores augmente avec la perte de charge, mais ne peut augmenter indéfiniment. Le phénomène de l'arrachement et de l'évacuation du floc sous l'action des forces hydrodynamiques ne peut être négligé.

Il a été rappelé plus haut que, après une marche suffisamment longue du filtre, l'élimination des particules par les couches supérieures cesse pratiquement. Ces couches sont alors à l'état de saturation. A cet état correspond une quantité maximale définie de quantité de sédiment par unité de volume du filtre q_0 mg/l et un degré maximal d'encrassement des pores σ_0 .

Ces valeurs dépendent de la vitesse de filtration, de la granulométrie et, plus particulièrement, de la cohésion du sédiment. Toutes choses étant égales par ailleurs, q_0 et σ_0 augmentent avec la cohésion du sédiment, σ_0 étant toujours inférieur à l'unité. Ces valeurs peuvent être considérées comme des paramètres de la filtration, caractérisant la cohésion du sédiment. Le second dépend de la nature des solides en suspension, du type de coagulant et de sa dose.

Si la cohésion du sédiment n'est pas prise en considération, et si la diminution d'efficacité du filtre est attribuée uniquement à la modification des structures géométriques du milieu filtrant, alors on doit inévitablement arriver à la conclusion que le degré d'encrassement des pores doit être très voisin de l'unité, et que la vitesse dans les pores doit augmenter indéfiniment. Cependant, comme le démontre l'expérience précédente, la possibilité d'augmentation est certainement limitée.

Le point faible de la théorie moderne de la filtration est l'absence de méthodes pour déterminer directement les paramètres correspondant à une structure géométrique donnée d'un milieu poreux encrassé. Ces paramètres sont : le degré d'encrassement σ et le volume spécifique q^* du sédiment, la vitesse réelle du courant dans les pores u , la surface spécifique des canaux poreux ω et leur « tortuosité ».

Tous ces paramètres, à l'exception de ce dernier sont reliés par des équations simples.

Ainsi, il est possible de déterminer l'un de ces paramètres, et de calculer les autres.

Si on pose :

$$u = v/m \quad m = m_0 - q^* \quad q^* = q/\gamma \quad \sigma = q/m_0\gamma$$

Il est bien connu, d'après la théorie de la filtration des liquides homogènes, que, pour un courant laminaire, on a la relation suivante :

$$i/i_0 = (m/m_0)^3 (\omega/\omega_0)^2$$

Filtration of coloured water (<i>filtration d'eau colorée</i>) V=8.25m/h, C ₀ =47mg/l				
FILTER RUN min.	H cm	i/i ₀	OBSERVATIONS ON INFLUENT WATER	OBSERVATIONS ON FILTRATE
0	0.5	1	No floes	No floes
15	3.1	6.2	"	} Presence of small flocs in abundance
30	5.1	10.2	"	
45	6.6	13.2	"	
60	7.5	15.0	"	
90	9.4	18.8	"	
120	11.1	22.2	"	

Filtration of clear water (<i>filtration d'eau claire</i>)						
V m/h	HEAD LOSSES AFTER FLOC DETACHMENT STOPPED H min. cm	QUANTITY OF DETACHED FLOC mg	FLOC LEFT IN SAND mg	q mg/cc	H ₀ cm*	i/i ₀
8.25	11.1	0	137.3	4.80	0.5	22.2
11.0	10.9	17.3	120.0	4.18	0.6	18.2
14.1	11.4	17.1	102.9	3.60	0.75	15.2
34.7	13.5	22.1	80.8	2.82	2.20	6.15
47.0	15.0	19.7	61.1	2.13	3.25	4.30

* Head losses in clean sand, H ₀ , for different filtration rates were determined previously.
--

d'où nous pouvons tirer la surface spécifique ω . Néanmoins, jusqu'à ce jour, les difficultés d'une mesure directe d'un des paramètres sans destruction de la structure du sédiment n'ont pu être surmontées. Les chercheurs ont pu, avec suffisamment de précision, déterminer les paramètres géométriques d'un milieu poreux propre : m_0 et ω_0 , ainsi que le poids des solides retenus, et la perte de charge correspondante dans un lit filtrant. Mais les valeurs des paramètres géométriques d'un milieu encrassé sont obtenues indirectement en supposant des valeurs définies de la densité du sédiment.

Parfois γ est calculé à partir de mesures de la capacité d'absorption du filtre ou des pertes de charge, selon un changement supposé *a priori* de la structure du milieu poreux. Ce calcul donne pour γ des valeurs différentes, mais voisines.

Dans un sens contraire, en supposant des valeurs différentes, mais proches, de γ , et en se servant de données expérimentales des poids des sédiments et des pertes de charge correspondantes, il est possible de tirer des équations ci-dessus des résultats sensiblement différents ou même contradictoires. Ainsi, nous pourrions trouver que la vitesse réelle dans les pores peut croître rapidement ou lentement, et que la surface spécifique peut croître, rester stable ou diminuer.

Tout ceci souligne la nécessité de recherches ultérieures, pour éliminer les difficultés expérimentales, et pour mesurer directement les variations des paramètres géométriques durant l'encrassement. On peut supposer que ces mesures pourraient éclaircir le problème controversé de la diminution d'efficacité d'un milieu filtrant. Et cela aurait une part importante dans le développement de la théorie et de ses applications pratiques.

Principales relations mathématiques

Dans son rapport, le Professeur Mintz donne un tableau très complet des différentes formules proposées par divers chercheurs, pour déterminer dans le temps et dans l'espace, les variations des différents paramètres de la filtration.

Les équations qui en résultent sont parfois suffisamment compliquées pour ne pouvoir être résolues que par ordinateurs électroniques.

La discussion de ces équations nécessiterait de longs développements, probablement en partie gratuits, puisque le Dr Mintz considère que nombre d'entre elles réclament de sérieuses vérifications expérimentales.

En tout état de cause, cette discussion nous apparaît en dehors du cadre de cet exposé. Signalons seulement que l'ensemble de ces équations fait intervenir cinquante paramètres différents; et qu'un très sérieux travail de synthèse paraît nécessaire dans ce domaine.

Le Dr Mintz souhaite d'ailleurs une coopération des chercheurs théoriques et expérimentaux, pour la solution des problèmes pratiques. De cette coopération devrait résulter une théorie mathématique plus exacte de la filtration.

Applications pratiques

De notables progrès dans la pratique de la filtration ont été constatés récemment. Il semble que, sur ce point, la période de stagnation caractérisant ces dernières décennies ait pris fin.

R. Eliassen note que, dans les cinq dernières années, de nombreuses innovations ont été introduites dans la pratique de la filtration. La plupart résultent d'une collaboration entre les chercheurs, le personnel des installations de filtration et les ingénieurs travaillant dans ce domaine, tant aux U.S.A. que dans le reste du monde.

R. Eliassen signale comme l'innovation la plus prometteuse aux U.S.A. « le procédé de filtration par microfloc », dont les caractéristiques sont les suivantes :

Le milieu filtrant est variable, allant des grains les plus gros aux plus fins dans la direction du courant.

L'eau coagulée est traitée avec un flocculant secondaire polyélectrolyte introduit avant l'entrée des filtres, et la dose de coagulant principal est déterminée en raison de la qualité finale requise. Suivant la turbidité de l'eau brute, la floculation et la sédimentation conventionnelles peuvent être supprimées. Le lit filtrant a alors une double fonction, celle d'une chambre de floculation et celle d'un filtre proprement dit.

Le filtre est constitué de différents matériaux de poids spécifique et de granulométrie variables. La vitesse normale pour ce genre de filtre est de 12,7 m/h.

En U.R.S.S., dans les cinquante dernières années, les filtres à double courant sont entrés dans la pratique. Dans la même période, ont apparu les filtres à double couche, et les premiers essais industriels de clarification par contact. A l'heure actuelle, les filtres-contact à grande vitesse sont fréquemment employés pour la filtration des eaux colorées à faible turbidité. Toutes ces unités travaillent sur le principe de la filtration à travers des couches de granulométrie de plus en plus fine. Dans les filtres à double courant, une partie du courant est dirigée vers le haut, tandis que dans les filtres-contact tout le courant est dirigé vers le haut.

Les filtres-contact travaillent sans floculation ni sédimentation préalable, l'eau traitée ayant une teneur en solides inférieure à 150 mg/l.

Récemment, de nouveaux flocculants polymérisés synthétiques ont été mis en service. Ils permettent une augmentation de la vitesse de filtration et de la limite de 150 mg/l pour l'usage des filtres-contact.

Dans toutes ces améliorations, le Pr Mintz conclut, non sans regret, que la théorie mathématique a servi plus souvent à vérifier les résultats donnés par les installations filtrantes, qu'à fixer *a priori* leurs structures.

Problèmes importants par un développement ultérieur de la théorie

Des différents rapports des experts, on peut tirer une liste de ces problèmes :

— Développement de méthodes sûres pour le

- contrôle direct des paramètres géométriques du milieu filtrant durant l'encrassement;
- Détermination plus précise de l'influence de la vitesse de filtration, de la granulométrie et de l'hétérogénéité, ou de l'uniformité du milieu filtrant sur les paramètres de la filtration, dans différentes conditions de fonctionnement;
- Etude plus poussée des propriétés des suspensions et systématisation des données pratiques pour utilisation dans les projets;
- Amélioration des méthodes par modèles, usines pilotes et observations sur les installations fonctionnant dans diverses conditions;
- Détermination de méthodes sûres pour les projets d'installations, et pour déterminer leur fonctionnement optimal;
- Détermination des dimensions les plus économiques d'un filtre dans les conditions actuelles de fonctionnement;
- Optimisation de toute la chaîne de filtration par la répartition la plus économique des pertes de charge aux différents étages;
- Etude de l'influence de la forme des grains et des propriétés des milieux filtrants, en vue du choix de milieux plus efficaces;

- Etude plus précise des critères qui déterminent un changement du processus de filtration depuis la filtration sans formation de couche superficielle, jusqu'à la filtration à travers cette couche;
- Généralisation des théories de la filtration, par la prise en compte de tous les facteurs qui peuvent agir dans différentes conditions dans la pratique des filtres rapides;
- Contrôle approfondi des résultats théoriques, par la résolution de problèmes pratiques concernant les projets et le fonctionnement des installations de filtration sur la base de relations plus étroites avec les ingénieurs pratiquants.

En conclusion, le Pr Mintz cite ces propos de R. Eliassen :

« De nombreux développements récents dans la théorie et la pratique de la filtration, montrent que nous approchons de l'optimisation dans les projets de filtres, pour le traitement de l'eau ou des eaux usées de caractéristiques très variables. Cependant, il reste beaucoup à faire avant que cet objectif soit atteint au travers d'échanges d'idées sur le plan international. »

Discussion

Président : M. RENARD

En ouvrant la séance et avant de donner la parole à M. DUBIN, M. le Président remercie M. BANAL, président du Comité technique de la Société Hydrotechnique de France, de l'avoir invité à présider cette séance consacrée aux problèmes de traitement de l'eau potable.

M. le Président précise que l'eau potable est une des préoccupations essentielles de l'Association Générale des Hygiénistes et Techniciens Municipaux, dont il a l'honneur d'être le président.

M. le Président dit le plaisir qu'il a à présider cette dernière séance de la session de mars, dont il connaît très bien les quatre conférenciers, tous membres de l'Association des Hygiénistes et Techniciens Municipaux, à titre personnel ou par la Société qu'ils représentent.

M. le Président présente M. DUBIN, ingénieur en chef à la Compagnie Générale des Eaux, conférencier souvent mis à l'épreuve : à l'Association Internationale de distribution d'eau en 1952 à Paris, en 1955, à Londres, en 1961, à Stockholm; à l'A.H.T.M.

M. DUBIN est très connu en tant que spécialiste des réseaux maillés : il a été appelé en consultation par l'Ambassade de l'Uruguay pour traiter sur place un problème s'y rapportant. Par ailleurs, M. DUBIN est un peintre connu, un photographe de talent et aussi un égyptologue remarquable.

M. DUBIN fait son exposé.

M. le Président remercie vivement M. DUBIN de l'important travail d'analyse qu'il a fait, et dont il se dégage, toutefois, que l'on est encore loin d'avoir des théories mathématiques de la filtration.

M. le Président retient simplement une phrase de M. le Professeur Mintz : « la discussion des équations nécessiterait de longs développements », probablement en partie gratuits puisque le professeur Mintz considère que nombre d'entre elles sont expérimentales.

M. le Président remercie à nouveau M. DUBIN de son exposé purement théorique et mathématique qui n'appelle aucune explication ni information complémentaire.