

SUR QUELQUES ERREURS

GRAVEMENT PRÉJUDICIALES A LA

VULGARISATION DU FILTRE DE SIMPSON

PAR

A.-L. MARCHADIER et H. GUINAUDEAU (4)

Depuis sa découverte par Simpson, le filtre à sable submergé et à grande surface a passé, au point de vue de l'interprétation de son fonctionnement, par deux phases bien distinctes :

Une première où, comme l'a dit spirituellement notre confrère Kemna, on se contentait de verser de l'eau sur un tas de sable et de la soutirer ensuite par le bas : c'était l'époque où, seule, la rétention mécanique par le sable, des matières en suspension dans l'eau, était envisagée.

Une deuxième, pendant laquelle le rôle de la *couche filtrante* fut établi et où des règles furent ébauchées pour le filtrage. Il y eut, à ce moment, un véritable engouement pour cette couche filtrante. Chacun voulut apporter son tribut à la théorie nouvelle, et l'on vit signaler comme suspectes toutes les causes même simplement soupçonnées d'occasionner un préjudice douteux aux éléments encore peu connus de cette membrane biochimique. Dans cet enthousiasme de la première heure, certains « filtreurs en chambre » émirent des hypothèses — jamais vérifiées — mais qui n'en furent pas moins propagées, devinrent de notoriété publique et sont, aujourd'hui encore, consi-

(4) Mémoire présenté à la séance du 17 mars 1909.

dérées comme des axiomes par des hygiénistes dont la bonne foi a été surprise ou dont l'excuse est de ne jamais avoir vu de filtres.

N'est-il pas généralement admis, par exemple, que les filtres à sable submergé sont des appareils à *pression constante* et que la constance de la charge est un *facteur indispensable* pour obtenir une bonne filtration? Ou encore que la vitesse de filtration peut être réglée par la *hauteur d'eau au-dessus du sable*?

Or, nous allons montrer que dans la pratique courante du filtrage :

A. — La pression dont il s'agit ne peut pas être constante;

B. — Que cette pression n'a aucun rapport sensible avec les résultats de la filtration;

C. — Nous dirons ensuite pourquoi la vitesse de filtration ne peut être réglée par la hauteur d'eau au-dessus du sable.

Pour cela, considérons un filtre à sable submergé tel qu'il se présente dans la pratique : le filtre F, par exemple, avec son alimentation A; et, pour simplifier la démonstration, supposons un tuyau F' branché sur ce filtre. (Voir schéma, fig. 1.)

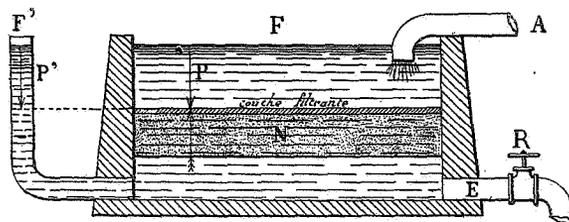


FIG. 1.

A. — Lorsque le filtre F vient d'être rempli et se trouve au repos, — c'est-à-dire lorsque le robinet R de l'échappement E est fermé, — le haut supérieur de la couche du sable N supporte deux pressions de sens inverse : P, d'une part; P', de l'autre, dont la résultante x est donnée par l'équation

$$x = P - P'.$$

A ce moment, les niveaux de l'eau dans F et F' — qui représentent deux vases communicants — sont sur un même plan horizontal. En conséquence :

$$P = P'$$

et, par suite,

$$x = 0.$$

La résultante des pressions exercées sur N est donc nulle.

Mais dès que le robinet R est ouvert, l'eau s'écoule en E, déterminant dans le réservoir d'eau filtrée un vide partiel qui s'accuse en F' par un abaissement immédiat de l'eau. De ce fait P' diminue. Or, comme dans l'égalité

$$x = P - P'$$

P est constante, x augmente d'une quantité égale à celle dont P' diminue. La nouvelle valeur de x est enregistrée aussitôt par l'appareil indicateur (4) : elle représente, nous l'avons dit, la résultante des pressions exercées sur N.

Si l'on supposait l'influence unique d'un débit maintenu constant, la résultante x pourrait être aussi considérée comme constante. En réalité, il n'en est pas ainsi, et il ne peut pas en être ainsi, car x est fonction de la couche filtrante qui se constitue graduellement sur N et dont l'eau, incessamment, augmente l'épaisseur au fur et à mesure de son passage. Or, cette augmentation d'épaisseur ne se produit pas impunément : elle a sa répercussion en F', où elle se traduit par un abaissement du niveau de l'eau, abaissement qui implique lui-même une diminution de P' et une augmentation de x puisque

$$x = P - P'$$

Ce renforcement de la couche filtrante se continuant, au moment où le niveau de l'eau dans F' arrive sur le même plan que cette couche, c'est-à-dire au moment où

$$P' = 0,$$

l'équation

$$x = P - P'$$

devient

$$x = P.$$

x a donc atteint l'apogée de sa puissance.

La résistance de la couche filtrante poursuivant encore son accroissement et x étant parvenue à son maximum, le débit du filtre, maintenu constant jusqu'alors par l'augmentation de x , ne peut plus l'être et tend vers 0, qu'il atteint au moment précis où l'imperméabilité de la couche filtrante devient absolue.

On peut donc dire que dans un filtre à sable submergé : d'une part, la pression supportée par la couche filtrante est *directement* proportion-

(4) Cet appareil est aujourd'hui partie constitutive du filtre à sable submergé. Il marque à tous instants la pression exercée sur la couche filtrante. Il est communément et improprement appelé « indicateur de perte de charge ».

nelle à la résistance de cette dernière; d'autre part, le débit du filtre est *inversement* proportionnel à la résistance de la couche filtrante.

Or, la résistance de la couche filtrante étant, comme on vient de le voir, un facteur essentiellement variable ⁽¹⁾ dont le filtreur peut constater les écarts sans pouvoir jamais les modifier ou les prévoir, il se trouve par cela même établi que, dans un filtre à sable submergé, *la pression sur la couche filtrante n'est pas constante et ne peut pas être constante*. C'est le premier point que nous nous étions proposé de démontrer.

B. — Pour établir le deuxième point, à savoir que la pression exercée sur la couche filtrante, dans les conditions habituelles de la filtration, n'a aucune influence sensible sur le rendement de cette dernière, nous exposons ci-dessous :

D'une part, les moyennes des résultats bactériologiques obtenus : **a.** avec des filtres marchant sous une faible pression, de 2 centimètres (minimum) à 5 centimètres; **b.** avec les mêmes filtres marchant sous une forte pression, de 60 à 120 centimètres (maximum);

D'autre part, les courbes des pressions successives subies par des filtres en marche normale avec les résultats bactériologiques correspondants (planche L) :

1907

NUMÉROS DES FILTRES.	Pression de 2 cm. à 5 cm.		Pression de 60 cm. à 120 cm.	
	a		b	
	Temps passé sous cette pression.	Moyenne des germes par cm ³ d'eau.	Temps passé sous cette pression.	Moyenne des germes par cm ³ d'eau.
2	50 jours.	34	7 jours.	38
4	90 —	32	12 —	34
5	90 —	56	15 —	38
6	29 —	38	10 —	33

(1) La constitution de la couche filtrante dépend, en effet, non seulement du volume d'eau qui s'écoule, mais encore de la nature (minéralisation, flore, faune) de cette dernière, de la composition du sable sous-jacent et aussi et surtout des conditions météorologiques ambiantes.

1908

NUMÉROS DES FILTRES.	Pression de 2 cm. à 5 cm.		Pression de 60 cm. à 120 cm.	
	a		b	
	Temps passé sous cette pression.	Nombre de germes par cm ⁵ d'eau.	Temps passé sous cette pression.	Nombre de germes par cm ⁵ d'eau.
1	92 jours.	64	16 jours.	42.
4	88 —	68	18 —	48
6	60 —	66	5 —	52
8	34 —	53	10 —	75

Ces tableaux et ces courbes — constitués à l'aide des documents officiels — permettent de constater qu'il n'existe aucun rapport sensible entre la pression exercée sur la couche filtrante et les résultats de la filtration. Contrairement à ce qu'on croit habituellement, ces derniers ont même très souvent une tendance à l'amélioration, précisément au moment où cette pression croît vers son maximum, et ceci était à prévoir, car, en somme, la pression dont il s'agit n'est que la conséquence du renforcement de la couche filtrante, et cette dernière, on le conçoit, filtre d'autant mieux que son feutrage forme un rideau plus compact et plus serré.

c. — Abordons maintenant le troisième point et montrons qu'il n'est pas possible de régler le débit d'un filtre par la hauteur d'eau au-dessus du sable.

Supposons, pour cela, notre filtre F prêt à fonctionner et ouvrons R. La section de E est tellement réduite par rapport à la section totale des espaces lacunaires de la couche de sable que, dans la limite des débits ordinaires [comprise entre le minimum de 1^m550 par vingt-quatre heures (Hambourg) et le maximum de 5^m560 (Philadelphie)], la résistance des grains de cette couche est presque nulle. Nous avons calculé, en effet, qu'un filtre de 1,000 mètres carrés de surface, chargé d'un sable homogène dont le coefficient de grosseur moyenne, en millimètres, est l'unité, offre une section lacunaire totale de 400 mètres carrés (soit les $\frac{2}{5}$ de sa surface). Si l'on compare à cette énorme section de passage (et cela même en tenant compte dans la plus large

mesure de l'étranglement des veines liquides au moment de leur écoulement à travers les espaces lacunaires) la faible section des tuyaux employés dans l'usage courant, section qui, dans le filtre pris comme exemple, est de 706 centimètres carrés au maximum, on voit qu'on peut et même qu'on doit considérer comme nulle la résistance du sable.

Il faut bien admettre alors (toujours dans la limite des débits ordinaires) qu'aucune lame d'eau ne pourra se maintenir au-dessus du sable. Le réglage du débit par ce moyen apparaît donc comme impossible, et l'est en réalité (1).

* * *

De tout ce qui précède, il résulte que, dans les conditions habituelles de la filtration, la hauteur d'eau au-dessus du sable n'a aucun rapport direct avec la pression sur la couche filtrante, les résultats de la filtration et le débit. Or, comme il était admis que cette pression sur la couche filtrante était *toujours* égale à la hauteur d'eau au-dessus du sable, il s'ensuit qu'une erreur a été commise chaque fois que cette hauteur a été calculée et établie en vue de cette pression. En France, dans la plupart des stations filtrantes, cette hauteur oscille de 0^m90 à 1^m40 et, d'une façon générale, les commissions chargées de l'élaboration des projets de filtres prescrivent avec précision une lame d'eau déterminée, en s'abstenant toutefois d'en expliquer la nécessité par des considérations quelconques. L'examen attentif auquel depuis bientôt trois ans nous soumettons les courbes de pression de chaque filtre, nous permet aujourd'hui de dire qu'il existe cependant une *hauteur d'eau normale* de laquelle on ne peut s'écarter si l'on veut, avec le *minimum* de dépenses, obtenir le *maximum* d'effets.

Nous avons vu que la *pression maximum* que la couche filtrante peut avoir à supporter est exactement égale à l'épaisseur de la lame d'eau au-dessus du sable et que, *à partir du moment où cette pression est atteinte, le filtre doit être arrêté et nettoyé, non parce qu'il épure*

(1) A ce sujet, nous ajouterons que, dans un filtre à sable submergé, le débit ne peut être réglé que par un seul moyen : en agissant sur la section de E. Ce débit étant, d'autre part, fonction de la résistance de la couche filtrante, et cette dernière croissant sans cesse, il s'ensuit qu'il est nécessaire d'agir à chaque instant sur la section de E. En d'autres termes, un réglage permanent de la section de E est indispensable et seul un appareil à fonctionnement automatique peut permettre de l'obtenir rigoureusement.

moins bien, mais parce que son débit faiblit et tend vers 0. Voyons donc par quelles phases a passé la pression pour atteindre ce maximum qui, dans les cas envisagés, était de 120 centimètres.

Tout d'abord, nous remarquons un premier temps plus ou moins long (quarante à cinquante jours en moyenne) pendant lequel la pression passe de 2 centimètres (minimum) à 5 centimètres.

Dans un deuxième temps, au moins égal comme durée au précédent, la pression passe graduellement de 5 à 50 centimètres.

Enfin, dans une dernière période, de huit jours en moyenne, cette pression monte brusquement à son maximum.

Il résulte de la constatation de ces faits qu'une augmentation, même très forte, de l'épaisseur de la lame d'eau pour permettre de reculer le moment où la pression devient maximum, aurait pour effet de prolonger de quelques heures seulement la durée du filtre. En somme, à partir de l'instant où la pression sur la couche filtrante atteint 50 centimètres, le filtre touche à sa fin et le temps pendant lequel il s'achève ne représente jamais plus de $\frac{1}{15}$ de la durée totale de sa vie. Si ce filtre avait fonctionné avec une lame d'eau de 50 centimètres seulement, sa façon de se comporter aurait donc été la même jusqu'au moment où la pression de 50 centimètres aurait été atteinte, et ainsi son existence aurait été abrégée dans une mesure insignifiante.

Nous nous garderons d'affirmer que ces résultats sont identiques dans toutes les installations, car dans certaines les filtres durent un mois et dans d'autres près d'un an, mais les renseignements que nous nous sommes procurés ⁽¹⁾ permettent d'affirmer que, dans tous les cas, ils sont comparables et que, du moment où la pression qui affecte la couche filtrante a atteint 50 centimètres, la durée ultérieure des filtres est infime par rapport à leur durée antérieure.

Nous pouvons donc dire que, dans un filtre à sable submergé, la hauteur d'eau normale au-dessus du sable est de 50 centimètres.

Il est bien évident que, d'après notre démonstration même, cette réduction de la hauteur d'eau n'amènera aucun changement dans les résultats de la filtration; mais, de toute évidence aussi, la diminution moyenne de 70 centimètres qui s'ensuivra dans la hauteur des murs des filtres, déchargeant d'un poids notable fondations et radier, aura

(1) Nous remercions vivement M. L. Marcotte, chargé de la surveillance des eaux d'alimentation de Paris à la station filtrante d'Ivry-sur-Seine, ainsi que M. le Directeur du Service des eaux de Nantes, qui ont bien voulu nous faire part de ces renseignements intéressants.

pour résultat une diminution considérable dans le prix de revient tout en donnant des résultats en rapport avec la dépense effectuée; tandis que dans les installations actuelles, les résultats obtenus par cette augmentation de la lame d'eau sont tout à fait disproportionnés avec le surcroît de dépenses qu'elle occasionne.

* * *

De même qu'il existe une lame d'eau normale, il existe une nappe de sable normale, et l'intérêt qui s'attache à sa détermination est au moins aussi grand et aussi général que celui qui nous a conduits à déterminer d'une façon précise la hauteur d'eau au-dessus du sable.

Disons tout d'abord que le sable employé ne doit être ni trop gros ni trop ténu. Son coefficient de grosseur moyenne, évalué en millimètres, doit être égal à l'unité. Sur un sable grossier, en effet, la couche filtrante s'infléchit entre les grains; par la suite, sa résistance se trouve diminuée et une rupture peut être à craindre. Dans le cas d'un sable trop fin, des tassements rapides se produisent, rompant en certains points l'homogénéité de la masse et rendant possibles de graves déchirures dans la membrane biochimique inégalement soutenue.

Nous n'ignorons pas que, dans certaines stations filtrantes d'Amérique, il existe des filtres à sable submergé dont la couche siliceuse est composée, sur 1^m50, de grains de sable dont le coefficient de grosseur oscille entre $\frac{10}{100}$ et $\frac{14}{100}$ de millimètre, mais il ne nous est pas possible d'approuver un tel « chargement », et cela pour deux raisons :

D'abord parce que nous avons toujours remarqué que, dans le filtre à sable submergé, la couche filtrante est le seul « élément stérilisateur » du filtre, et si nous reconnaissons que le sable qui lui sert de *support* joue indéniablement le rôle précieux d'un *élément clarificateur*, nous devons reconnaître également qu'il ne nous a jamais été permis de constater que le même sable agit aussi comme un *élément épurateur*.

Ensuite, parce que, même en supposant que certaines espèces de sables jouissent de cette propriété épuratrice, nous envisageons comme presque insurmontable dans la pratique la difficulté en présence de laquelle on se trouve infailliblement lorsqu'il s'agit de soumettre à un nettoyage rigoureux une pareille masse de sable contaminé.

En opérant avec un sable dont le coefficient de grosseur moyenne est de 1 millimètre et en *réduisant* graduellement, après chaque nettoyage, l'épaisseur de la nappe de sable de 90 à 30 centimètres, nous

avons constaté, invariablement, que *les résultats bacteriologiques restent les mêmes*, et si nous ne sommes pas descendus au-dessous de 30 centimètres, c'est uniquement pour éviter le danger de calcification du sable, précédemment étudié et décrit par l'un de nous (1).

Nous pouvons donc affirmer qu'une nappe de sable de 30 centimètres d'épaisseur est suffisante pour les besoins de la filtration, qu'elle constitue la *nappe normale* dans le filtre à sable submergé.

Cette réduction des deux tiers de l'épaisseur de la couche de sable entraîne des conséquences économiques et hygiéniques considérables.

En effet, si la hauteur du sable est réduite des deux tiers, le volume du sable (produit cher, tant par lui-même que par les lavages et les triages auxquels il doit être soumis) sera réduit d'autant. A une réduction des deux tiers dans la hauteur du sable correspondra donc une économie des deux tiers dans l'achat de ce sable. En outre, la hauteur des murs subira une diminution proportionnelle et, là aussi, une économie, et non la moindre, sera réalisée.

Au point de vue de l'hygiène, les avantages ne sont pas moins grands :

Lorsqu'on filtre avec une couche de sable de 0^m90 à 1^m40 d'épaisseur, on se borne, en temps voulu, au nettoyage *en surface* de cette grande masse, nettoyage qui est, en effet, le seul possible dans la pratique. De telle sorte que les dépôts qui, fatalement, se produisent dans l'intérieur de la couche de sable, arrivent à avoir une certaine importance et, dans des cas nombreux, constituent des foyers d'infection et de contamination pour l'eau qui passe. Seul, le nettoyage complet du filtre peut alors venir au secours du filtreur; mais, en raison de la dépense énorme que ce nettoyage entraîne, on peut dire qu'on y renonce presque toujours. Avec une épaisseur de sable de 30 centimètres, cet inconvénient financier disparaît, le nettoyage en surface étant remplacé sans plus de frais par le nettoyage *en profondeur*. Bien mieux, en raison de la faible épaisseur du sable, le nettoyage à main d'homme, long, coûteux, imparfait et souvent dangereux, fait place au nettoyage mécanique sur place et sans appareil spécial, nettoyage non seulement plus régulier et plus efficace, mais encore plus rapide et meilleur marché. Nous comprenons, en effet, ce nettoyage par la violente et rapide pulvérisation d'un mélange d'eau et d'air sous pression, en utilisant comme intermédiaire une batterie de tubes perforés placés sous le

(1) Bull. Soc. belge de Géol., t. XXII (1908). PROC.-VERB., pp. 301-305.

sable et destinés à servir, en temps ordinaire, de collecteurs à l'eau filtrée (1).

* * *

On conçoit que ces modifications dans le nettoyage et le drainage du filtre à sable submergé, ajoutées à celles précédemment décrites, font de ce filtre un appareil autrement simple et accessible dans toutes ses parties, autrement bon marché et pratique que le filtre actuel. D'ailleurs, pour mieux fixer les idées à ce sujet (sans toutefois entrer dans des détails de construction ou des exposés de devis que cette étude ne comporte pas), nous dirons que le filtre à sable submergé actuel en maçonnerie de 1 000 mètres carrés de surface, pour un débit moyen de 1 750 mètres cubes d'eau filtrée par jour, coûte la somme énorme de 45 000 francs, alors que ce filtre, également en maçonnerie mais modifié dans son établissement ainsi que nous l'avons dit, revient au prix beaucoup plus modeste et plus abordable de 24 000 francs, et cela

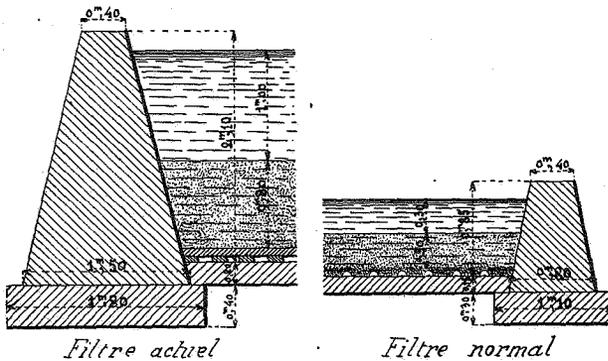


FIG. 2.

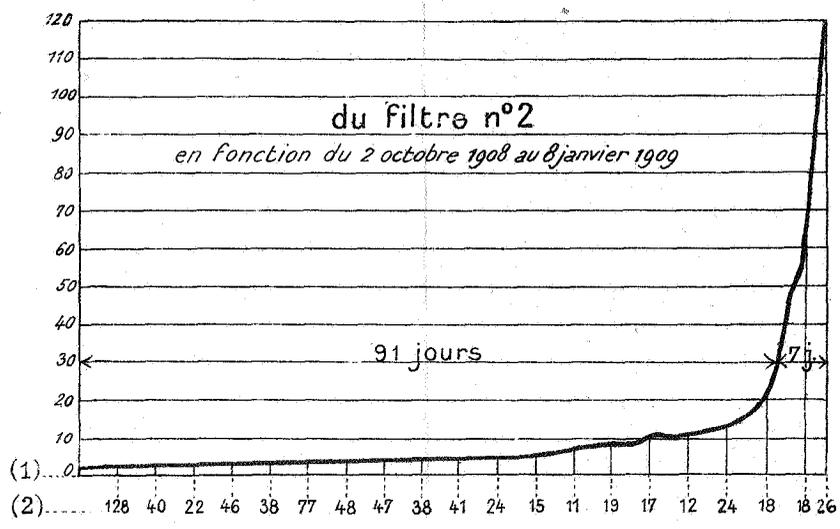
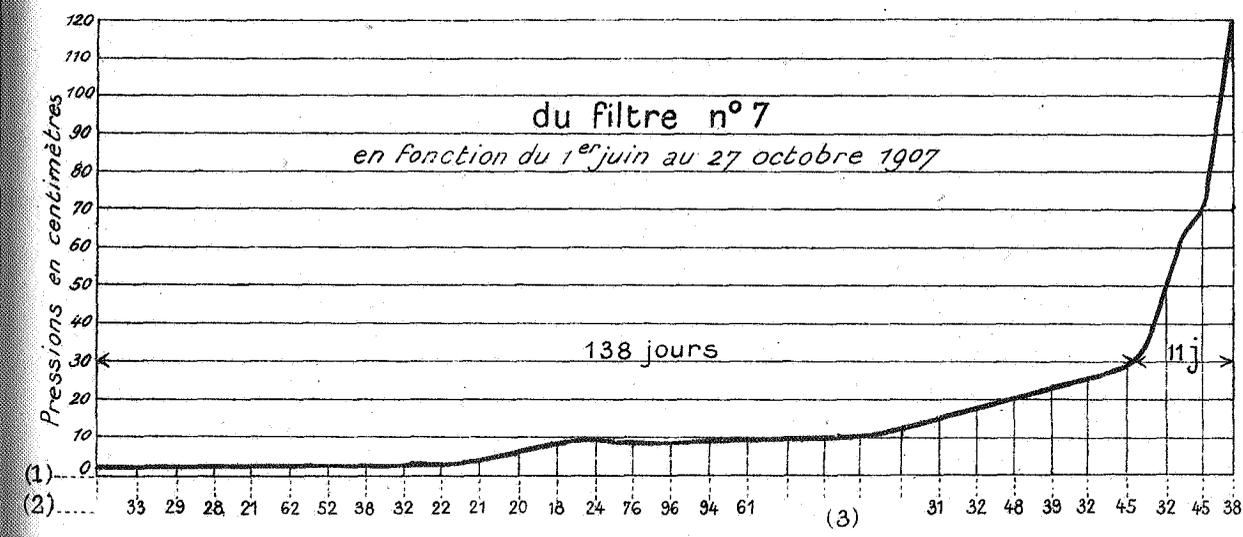
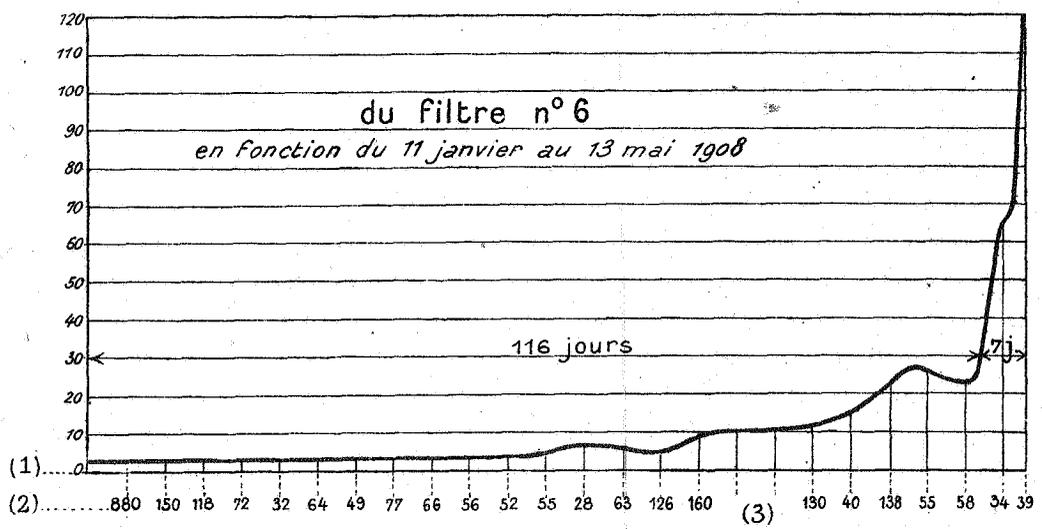
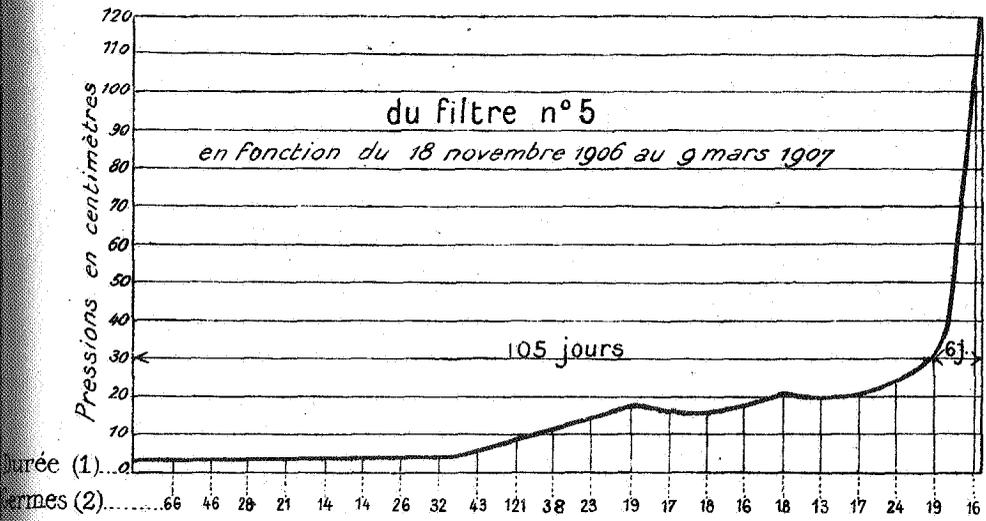
en tenant compte simplement de la diminution des nappes d'eau et de sable, sans même faire intervenir les modifications au drainage et au nettoyage. L'expérience nous apprend en outre que, pour cette somme énorme de 45 000 francs, nous avons un filtre qui, en temps ordinaire, nous donne, il est vrai, une eau contenant seulement vingt-cinq

(1) Ce double et avantageux emploi des tubes de fond perforés a été appliqué pour la première fois, à notre connaissance, par M. Desgorces, directeur des travaux de la ville de Chartres (France), pour le drainage et le nettoyage des clarificateurs en usage dans le service d'eau de cette ville.

germes par centimètre cube, mais qui, en revanche, en temps de crues, nous donne une eau en contenant trois cents et toujours trouble dès que la transparence de l'eau d'alimentation descend au-dessous de 75 centimètres. Sans nul doute, notre filtre modifié (que nous appellerons *normal* pour le distinguer du précédent, voir fig. 2) ne nous donnera pas des résultats bien sensiblement meilleurs, mais l'économie *considérable* qu'il nous fera réaliser nous permettra de le faire précéder d'un système de clarification suffisamment parfait (1) pour obliger ce filtre à nous fournir, *en tout temps*, une eau limpide et à peu près stérile. Nous avons remarqué, en effet, qu'un pareil filtre, alimenté *exclusivement* par une eau dont la transparence ne descend pas au-dessous de 1 mètre, ne laisse jamais échapper cette eau avec plus de trente germes par centimètre cube. C'est là un résultat qui montre tout le parti qu'on peut tirer du filtre à sable submergé, lorsque ce dernier est conçu, édifié et alimenté comme il doit l'être, c'est-à-dire *rationnellement*.

(1) Cette clarification préalable est *indispensable*. On peut l'obtenir en faisant subir à l'eau : d'abord une décantation de quarante-huit heures ; ensuite, un dégrossissage ; enfin, *le cas échéant*, une préfiltration sur un filtre à sable submergé normal en maturation. Ces trois opérations doivent *toujours* avoir lieu successivement. Nous les jugeons *rigoureusement nécessaires* dans nos pays où la cherté des terrains rend impossible l'acquisition de grands espaces de décantation comme il en existe, par exemple, en Angleterre et au Japon. L'eau de la plupart de nos rivières est, en effet, très difficile à clarifier en temps de crue même légère, et l'un ou l'autre de ces modes de clarification, employé seul, *échouerait certainement*. D'ailleurs, ces trois modes, dans l'ensemble, sont peu coûteux : la *décantation* est presque toujours possible dans un canal simplement creusé en pleine terre et non maçonné. La *préfiltration* ne demande aucun organe spécial, attendu qu'elle est seulement *nécessaire en temps de crues* et qu'à ces époques, la consommation diminuant notablement, on peut toujours employer comme préfiltres les filtres dont le fonctionnement apparaît à ce moment comme le moins satisfaisant. En somme, la seule dépense appréciable est celle nécessitée par l'établissement du *dégrossissage*, mais l'économie réalisée par les modifications au filtre permettra, dans tous les cas, d'y faire face très largement.

Courbes des pressions successives



(1) La durée des filtres est représentée à raison de un millimètre par jour.
 (2) Nombres de germes aérobies par centimètre cube, relevés tous les cinq jours.
 (3) Périodes pendant lesquelles le laboratoire n'a pas fourni d'analyses.