

UTILISATION DES LITS FLOTTANTS DANS LA FILIERE DE POTABILISATION DES EAUX DE SURFACE

A. SAHNOUN, R. BEN AIM

<> UNIVERSITE DE TECHNOLOGIE DE COMPIEGNE
Département Génie Chimique
B.P. 649
60206 COMPIEGNE Cédex

C. VISVANATHAN

<> ASIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY
Division of Environmental Engineering
G.P.O. Box 2754
BANGKOK 10501, Thailand

Résumé

Il est possible d'envisager l'utilisation de matériaux flottants pour constituer des lits filtrants susceptibles d'être utilisés notamment dans les filières de potabilisation de l'eau. En écoulement descendant, l'existence de la partie émergée pourrait permettre de coupler naturellement une étape de floculation à une étape finale de filtration.

Ces deux opérations (floculation et filtration) ont fait l'objet d'une étude conjointe menée en parallèle à Compiègne et à Bangkok. Il apparaît que l'écoulement ruisselant est favorable à la floculation. Les conditions optimales de fonctionnement d'un tel flocculateur statique continuent à être étudiées par une caractérisation hydrodynamique et par une campagne d'essais en conditions réelles.

INTRODUCTION

Pour les matériaux habituellement utilisés en filtration sur lit épais dans les filières de potabilisation d'eau (sable, anthracite, charbon actif, grenat etc...), un lavage à contre courant est nécessaire à la fin de chaque de filtration. La meilleure efficacité du lavage est obtenue par injection simultanée d'air et d'eau (le débit d'eau étant égal à 70 % du débit minimal de fluidisation (1)).

L'utilisation d'un média flottant moins dense que l'eau, récemment proposé pour la filtration en profondeur des eaux de surfaces (2 et 3) ainsi que pour le traitement biologique des eaux résiduaires urbaines (4, 5 et 6), a pour avantage essentiel une modification de la procédure de lavage qui peut conduire à une réduction sensible de la consommation d'eau de lavage.

Lorsque l'objectif est la clarification, le média filtrant doit être disponible à des dimensions voisines de celles des matériaux filtrants utilisés dans les filtres conventionnels monocouches ou bicouches. Sa masse volumique doit permettre la flottabilité et la décantabilité dans un milieu eau-air au cours du lavage à l'air.

Les lits flottants peuvent être utilisés en écoulement ascendant (lit flottant entièrement saturé), ou descendant (lit semi-saturé et lit saturé). Dans le cas du traitement physico-chimique de l'eau, la configuration sous forme de lit bicouche peut constituer un avantage :

- la première couche, constituée de grains de dimension relativement élevée, joue le rôle de flocculateur tout en assurant la rétention des particules les plus grossières;
- la seconde couche, formée avec un matériau plus fin, joue le rôle du filtre proprement dit, c'est-à-dire rétention des matières en suspension.

Deux séries d'essais ont été menés en parallèle à l'A.I.T. et à l'U.T.C. en vue de préciser les possibilités d'utilisation de ce nouveau média soit avec un objectif de filtration (clarification finale), soit avec un objectif de clarification partielle ou simplement de floculation.

I. PROCEDURES EXPERIMENTALES

I.1 Filtration sur lit bicouche flottant saturé

Les essais ont été réalisés à l'A.I.T. sur une suspension de kaolin dans une colonne en acrylique, d'un diamètre intérieur de 6,4 cm et d'une hauteur de 1 m. Le média filtrant est constitué d'une couche de 30 cm de polystyrène expansé, de forme sphérique ($d = 1,54$ mm et $\rho = 50$ kg/m³). En amont de cette couche se trouve une couche de 30 cm de polypropylène ($d = 3,66$ mm et $\rho = 903$ kg/m³). On injecte 20 mg/l de sulfate d'alumine et 0,5 mg/l de polyélectrolyte cationique.

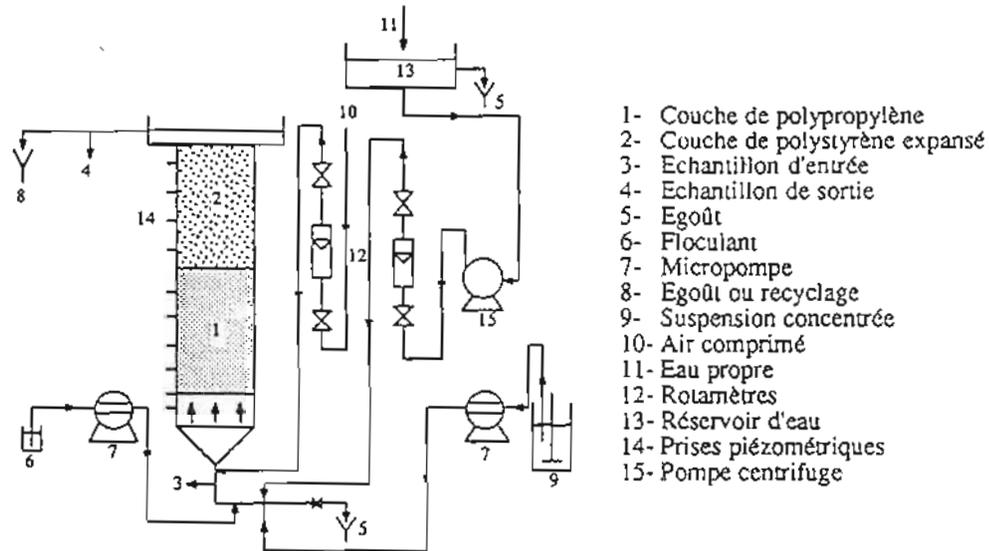


Figure n°1 : Schéma de l'installation de filtration sur lit bicouche flottant saturé

I.2 Ecoulement descendant sur lit insaturé

Les essais ont été réalisés à l'U.T.C. sur une suspension de bentonite d'une concentration moyenne en matières en suspension de 52 mg/l (turbidité de 13 NTU environ). Le réactif de coagulation (sel complexe d'aluminium, WAC HB) est injecté dans la conduite d'alimentation du filtre à une dose de 0,8 g_{WAC}/g_{MES} (40 mg_{WAC}/l) : la concentration en matières en suspension est alors de 55 mg/l. La colonne utilisée est en PVC transparent, d'un diamètre interne de 8 cm et d'une hauteur de 2 m. La hauteur du garnissage en polypropylène ($d = 3$ mm et $\rho = 870$ kg/m³) est variable selon que l'on désire un fonctionnement en flocculateur-décanteur ou un fonctionnement en flocculateur avant une étape finale de filtration.

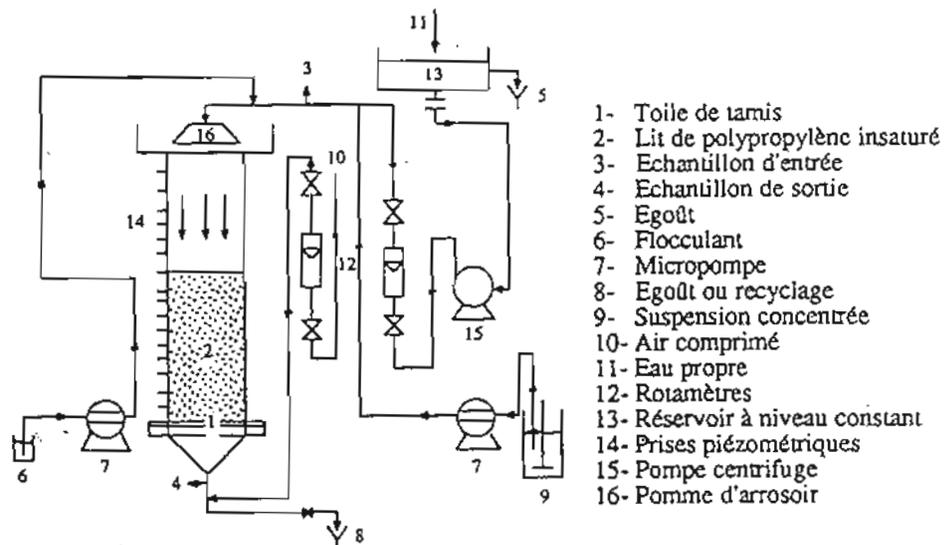


Figure n°2 : Schéma de l'installation pour un écoulement descendant insaturé

II. RESULTATS ET INTERPRETATIONS

II.1 Filtration sur lit bicouche flottant saturé

Les vitesses d'écoulement étudiées s'étendent entre 5 et 15 m/h. Le contre lavage s'effectue par injection d'air à une vitesse de 100 m/h durant 2 minutes permettant ainsi le détassage du lit. Cette étape est suivie par l'injection d'un courant d'eau descendant à une vitesse de 50 m/h durant 3 minutes et qui a pour but l'évacuation des boues qui étaient emprisonnées dans les deux couches filtrantes. Grâce à cette méthode, on obtient une expansion totale du lit de l'ordre de 66 % (27 % d'expansion pour le polystyrène et 100 % pour le polypropylène).

Les tableaux suivants illustrent les résultats obtenus pour une suspension de kaolin (ayant une turbidité d'entrée de 30 NTU) sur une couche de polystyrène expansé de 1,54 mm diamètre suivie d'une couche polypropylène de granulométrie variable.

Vitesses d'écoulement (m/h)	15	12.5	10	7.5	5
Temps de perçage du filtre (h)	8.5	22.8	27.5	22.1	> 40
Meilleure turbidité obtenue (NTU)	7.0	4.5	4.7	5.5	2.7
Perte de charge au moment du perçage (cm d'eau)	35	110	105	65	200
Fin de l'essai pour une raison de qualité	oui	oui	oui	oui	non
Fin de l'essai pour une raison de perte de charge	non	oui	oui	non	oui

Tableau n°1: Influence de la vitesse d'écoulement pour du polypropylène de 3,66 mm de diamètre.

Vitesses d'écoulement (m/h)	15	12.5	10	7.5	5
Temps de perçage du filtre (h)	5	7	15	28	> 34
Meilleure turbidité obtenue (NTU)	2.6	3.1	1.4	2.5	1.5
Perte de charge au moment du perçage (cm d'eau)	10	20	45	74	60
Fin de l'essai pour une raison de qualité	oui	oui	oui	oui	non
Fin de l'essai pour une raison de perte de charge	non	non	non	non	non

Tableau n°2: Influence de la vitesse d'écoulement pour du polypropylène de 2,57 mm de diamètre.

Ces deux tableaux montrent que le comportement de ces matériaux est identique à celui du sable: la durée de fonctionnement augmente et la qualité de l'eau filtrée s'améliore lorsque la vitesse de filtration diminue. L'amélioration de la qualité de l'eau filtrée est aussi favorisée par la diminution du diamètre des grains de la première couche.

Les figures n°3 et n°4 illustrent un exemple typique des résultats obtenus pour une vitesse de 12,5 m/h sur une eau dont la turbidité d'entrée est de 30 NTU avec des diamètres des grains de 3,66 mm pour la couche de polypropylène et 1,54 mm pour la couche de polystyrène.

La turbidité de l'eau filtrée est d'environ 5 NTU durant les 20 premières heures de fonctionnement : le perçage du lit n'intervient qu'au delà de cette période. La perte de charge due à la rétention des matières en suspension (plus de 1 m de colonne d'eau au moment du perçage) se concentre principalement dans la couche de polystyrène. La turbidité à l'interface entre les deux couches reste pratiquement constante et la perte de charge dans la couche de polypropylène reste très faible durant les 25 premières heures de filtration : cette couche jouerait donc un rôle proche de celui d'un flocculateur. Dans ces conditions, le temps de séjour moyen (τ) est de 32 secondes; le gradient moyen de vitesse (G) peut être déterminé par :

$$G = \sqrt{\frac{P}{V \mu}} = \sqrt{\frac{Q \Delta P}{V \mu}} = \sqrt{\frac{\Delta P}{\tau \mu}}$$

Ce gradient moyen de vitesse passe de 175 s^{-1} pour 5 heures de fonctionnement à 580 s^{-1} au moment du perçage du filtre (23 heures de fonctionnement). Le nombre de Camp ($Ca = G \tau$) qui caractérise la cinétique de floculation est donc compris entre 5600 et 18600.

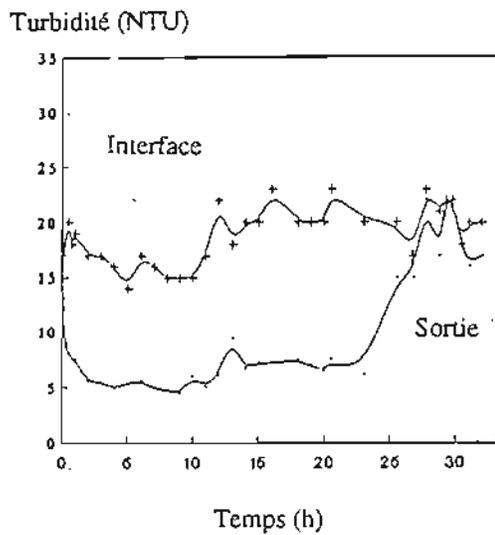


Figure n°3 : Evolution de la turbidité pour une filtration ascendante

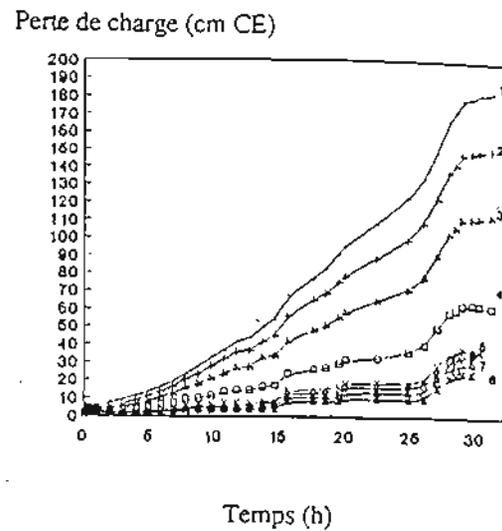


Figure n°4 : Evolution de la perte de charge pour une filtration ascendante

II.2 Ecoulement descendant sur lit insaturé

Lors d'un écoulement descendant, un lit flottant se caractérise essentiellement par la présence d'une zone émergée qui reste insaturée. C'est la possibilité d'utilisation de cette partie émergée d'un lit flottant comme flocculateur ou comme flocculateur-décanteur qui est cette fois-ci étudiée.

II.2.1 Comportement en flocculateur-décanteur

L'objectif est alors de former des floccs et de retenir la majeure partie de ces floccs au sein du lit.

L'injection du réactif de coagulation (le WACHB) se fait en tête de colonne grâce à un dispositif qui assure un mélange total et rapide. Les doses de réactif testées varient entre 0 et $0,8 \text{ gwac/gMES}$, ce qui correspond à des concentrations entre 0 et 40 mg/l ; plusieurs hauteurs de garnissage ont été testées entre 0,36 et 1,2 m.

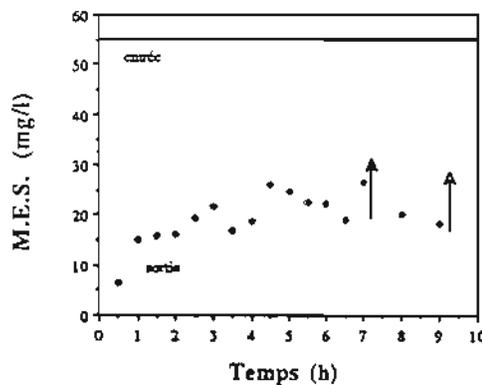


Figure n°5: Evolution de la teneur en M.E.S. à la sortie de la colonne

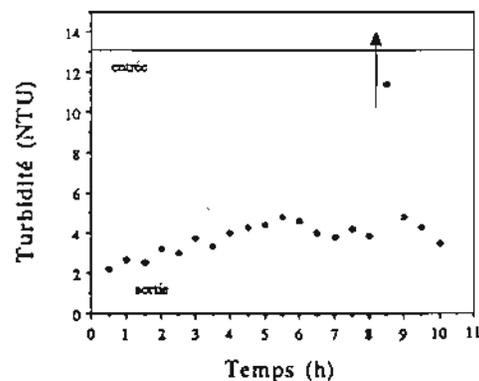


Figure n°6: Evolution de turbidité à la sortie de la colonne

Le meilleur résultat est obtenu avec une vitesse de 8 m/h et une hauteur de garnissage de 1.2 m (voir Fig. n°5 et 6), soit un temps de séjour apparent de 10 mn environ, ce qui est très faible pour un décanteur.

Dans ce cas, on observe une stabilité de la turbidité (4 NTU) à la sortie du lit et de la teneur en matières en suspension pendant 8 heures environ, ce qui correspond à une rétention de 2 kg_{MES}/m³. Des phénomènes de relargage commencent alors à apparaître signe d'une saturation du lit : la période de fonctionnement stable d'une telle installation est donc relativement courte.

La simulation de ce type de fonctionnement peut être obtenue grâce au modèle précédemment développé (7) qui associe floculation et rétention au sein de la masse filtrante.

II.2.2 Comportement en flocculateur

L'objectif est alors de produire des floccs et de les entraîner de façon à atteindre un fonctionnement stable.

Les meilleurs résultats ont été obtenus pour une hauteur de 36 cm et une vitesse de 40 m/h (voir Fig. n°7) soit un temps de séjour apparent inférieur à 1 minute : le diamètre des microflocs mesuré par granulométrie-laser est voisin de 50 µm, valeur considérée comme optimale pour une rétention ultérieure dans un filtre en profondeur.

En estimant que le hold up représente 50 % du volume libre du lit, on obtient, pour une vitesse d'écoulement de 40 m/h et une couche de garnissage de 36 cm, un temps de séjour (τ) de 6 secondes et un gradient de vitesse (G) de 770 s⁻¹ : le nombre de Camp (Ca) est alors de 4600. La caractérisation par traçage de l'hydrodynamique de l'écoulement est en cours de réalisation.

A condition d'établir une légère dépression (quelques centaines de Pa), le fonctionnement est apparemment stable sur une longue période (voir Fig. n°8). On observe toutefois une très importante augmentation du taux de rétention qui passe de 3 ± 1 kg_{MES}/m³ pour 8 heures à 27 ± 2 kg_{MES}/m³ pour 27 heures. Ces résultats justifient une campagne d'essais (en cours de réalisation) en conditions réelles sur une installation pilote de grande taille.

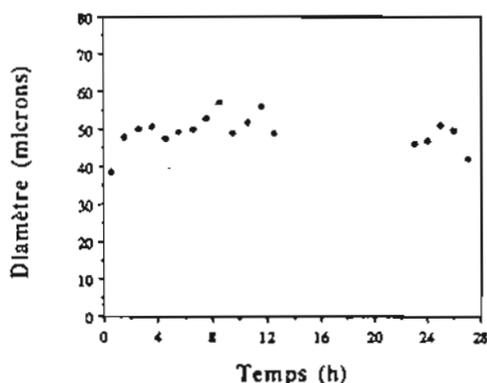


Figure n°7 : Evolution de la taille des microflocs produits à la sortie

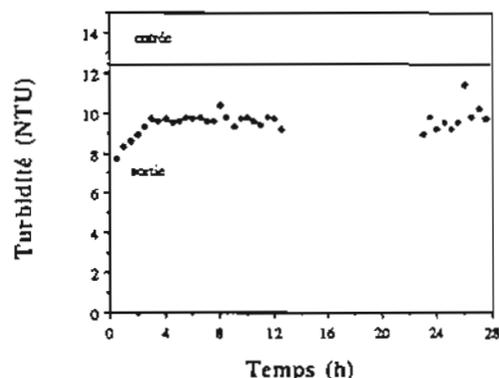


Figure n°8 : Evolution de la turbidité à la sortie de la colonne

III. CONCLUSION

L'utilisation pour la filtration en profondeur de matériaux plastiques flottants en écoulement ascendant saturé (monocouche ou bicouche) ne semble pas apporter d'améliorations par rapport aux matériaux conventionnels tel que le sable.

Par contre, l'utilisation d'un media flottant (diamètre de grain entre 3 et 4 mm) en écoulement descendant insaturé convient à la production de microflocs destinés à une filtration directe.

Etant donnée la faible pression exercée par ces matériaux sur leur support (moins de 200 kg/m² pour une couche de polypropylène de 36 cm), leur utilisation comme flocculateur statique pourra faciliter la conception et abaisser le prix de revient de l'étape de floculation.

La caractérisation de l'hydrodynamique de l'écoulement ruisselant est en cours afin d'aboutir à un modèle prévisionnel de la formation des flocs, de leur évolution, de leur rétention, et de leur reentrainement.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- (1) Amirtharajah A., Optimum backwashing of sand filters, Journal of the Environmental Engineering Division, ASCE, Vol. 104, October 1978
- (2) Vital J.L., Lemmel H., Gaudin M.P., Degremont, Un nouvel appareil de filtration sur lit flottant, L'eau, l'industrie et les nuisances, n°135, Mars 1990
- (3) CPC Engineering Corp, Turbidity vanishes in this water treatment plant, Chemical Eng., June 1992
- (4) Capdeville B., INSA Toulouse, Procédé et réacteur de traitement d'eau utilisant un lit granulaire adapté pour assurer une filtration associée à une épuration biologique". Brevet français n°90.16588
- (5) Richard Y., Cyr R., Degremont, Les possibilités de traitement par cultures fixées aérobies, TSM-L'eau, Juillet-Août 1990
- (6) Ishigaki Mechanical Industry Co.Ltd, Catalog n°E15
- (7) Ben Aïm R., Vigneswaran S., Effect of size distribution of particles in deep bed filtration, AIChE Journal, Vol. 31, n°1, 1988.

REMERCIEMENTS

Ce travail fait l'objet d'un programme intégré financé par le MRE et la SAUR et associant outre l'U.T.C., l'E.N.S.I.G.C., et l'I.N.S.A. de Toulouse