

Réduction et contrôle du foisonnement filamentueux des boues activées par application d'un régime turbulent

Bulking reduction and control by application of a turbulence

G. MARTIN¹, A. COLLIGNON¹, J. CHARPENTIER²

Reçu le 28 février 1989, accepté le 26 septembre 1990*.

RÉSUMÉ

Le foisonnement filamentueux des boues activées est un problème important dans les stations d'épuration du type Boues Activées, car il peut entraîner des pertes de biomasse avec l'eau épurée. Les techniques de lutte utilisées actuellement sont, soit des techniques dites « biologiques » (sélecteurs), soit des techniques chimiques (floculants, biocides). L'objectif de notre travail a été la mise au point d'un procédé original basé sur la création d'une zone de turbulence pour casser les réseaux filamentueux. La réduction et le contrôle du bulking sont obtenus par passage (de durée limitée T_1) de la biomasse dans un système venturi, équipée d'une prise d'air. L'efficacité du procédé dépend principalement de la turbulence due à l'auto-aspiration d'air au niveau du rétrécissement du venturi. Cette turbulence contribue d'une part au mécanisme de « cisaillement » des filaments, et d'autre part à la qualité de l'effluent sortant. Une gestion adaptée (aération séquentielle en procédé à faible charge) permet d'obtenir, outre une amélioration de la décantation, une amélioration de l'élimination de l'azote. De plus, le contrôle de la biomasse optimise l'élimination de la pollution carbonée.

Mots clés : *procédé d'épuration des eaux usées, boues activées, foisonnement filamentueux, indice de boue, venturi, émulseur, aération continue, aération séquentielle, élimination de la DCO, élimination de l'azote.*

SUMMARY

The loss of biomass in a waste water plant as a result of sludge bulking is an important problem. Biological (ex. : selector configuration) or chemical (ex. : flocculating reagents, biocides...) methods have been used in order to control

1. Laboratoire Chimie des Nuisances et Génie de l'Environnement, Ecole Nationale Supérieure de Chimie de Rennes, Avenue du Général Leclerc - 35700 Rennes Beaulieu, France.
2. Centre Régional de la Compagnie Générales des Eaux, 11 rue Kléber - 35020 Rennes, France.

* Les commentaires seront reçus jusqu'au 30 décembre 1991.

bulking. A new process based on the generation of turbulence to break the filaments is described. To reduce and control sludge bulking, the biomass is pumped through a venturi equipped with an air inlet. Figure 1 represents the pilot scheme. Two processes can be used : the emulsor with air is introduced on recycling of sludge or is placed in an independent loop. Here, it is the latter that has been used.

We tried to reduce bulking by mechanical treatment. The hydrodynamic efficiency of the process depends mostly on the degree of turbulence generated by the water's speed and by the suction of air in the constricted part of the venturi.

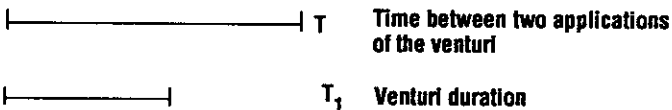
During the first trials on the plant, we defined the maximum turbulence allowed in order not to break the floc. We could not use a big aeration to prevent deflocculation.

The main factors to reduce bulking are :

- the sequences of usage of the emulsor venturi (the periodicity of the treatment is T),
- the speed of the water in the nozzle of the venturi (we can refer to the Reynolds Number $Re = Ud/\nu$; but this number can't really represent the turbulence created),
- the duration of the emulsor's application. The emulsor venturi is used during a period T_1 with a periodicity T ($T > T_1$), with $T_1 : n \times (V_n/q_v)$ where V_n/q_v is the contact time in the venturi and n is the frequency of recycling.

During the period T , it is possible to use continuous aeration or to work with sequential aeration.

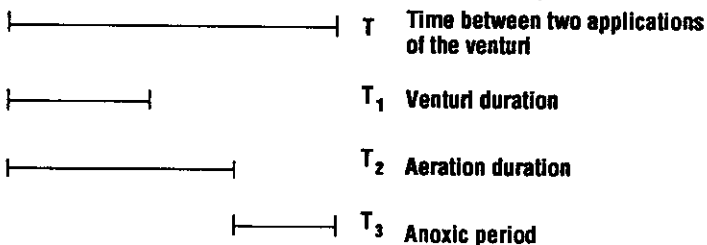
a) continuous aeration



The process is the same as the aeration of activated sludge. COD is reduced but only with low load, significant nitrification occurs. Figure 5 shows the efficiency of the continuous aeration process especially versus the sludge index parameter.

b) sequential aeration

As we try to remove nitrogen, the sequential aeration is more useful than continuous aeration. A cycle is divided in two periods (T_2, T_3 with $T = T_2 + T_3$), and of course, the duration of the venturi use equal to T_1 .



Figures 6 and 7 show the efficiency of the emulsor if we consider I_B (sludge index) as the main parameter for the sequential operation (T_2 , T_3) and it's also possible to obtain a good removal of nitrogen pollution.

Our operations parameters were for these experiments :

$T = 8$ or 12 hours

T_1 between 20 min. and 1 hour

T_2 between 4 and 5 hours

This process is now patented and the first industrial applications are now defined.

Key-words : *waste water treatment plant, activated sludge, sludge bulking, sludge index, venturi, emulsor, continuous aeration, sequential aeration, DCO removal, nitrogen removal.*

1 - INTRODUCTION

Le foisonnement filamenteux des boues activées constitue un problème de décantation majeur des stations d'épuration urbaines et/ou industrielles (25 à 30 % des installations en Europe occidentale et aux Etats-Unis). Il résulte de la prolifération de bactéries filamenteuses dans les boues activées, en réponse à certains paramètres du milieu, ou à la structure du réacteur. Il s'ensuit alors fréquemment une perte de biomasse avec l'eau épurée et parfois arrêt de l'installation. L'identification des causes du phénomène a permis la mise en place de différents moyens de lutte :

– des techniques « biologiques », basées sur une sélection des germes floculants par des phénomènes de compétition, on peut employer par exemple des sélecteurs (FORTIN, 1986 ; PUJOL, 1987),

– des techniques chimiques ; elles consistent en l'ajout d'un produit chimique provoquant une modification de la structure des boues. On emploie, par exemple, des agents floculants : chaux (WAGNER, 1983), sels de fer et d'Aluminium (WAGNER, 1982 ; MATSCHE, 1982), polymères cationiques (WALLER et HURLEY, 1982) ; des agents biocides : chaux (WAGNER, 1983), peroxyde d'hydrogène (CUBBEDGE, 1976), chlore et dérivés (JENKINS *et al.*, 1982), ozone (COLLIGNON, 1988).

Des essais réalisés par WAGNER (1982) ont montré qu'il est possible d'obtenir une rupture mécanique des réseaux filamenteux par centrifugation d'une partie des boues recyclées.

Le but de notre travail a été de tester et de mettre au point une technique originale, basée sur l'utilisation ponctuelle d'une turbulence obtenue par passage des boues au travers d'un venturi à émulsion (avec prise d'air) pour réduire et contrôler le foisonnement.

Nos essais sont réalisés au laboratoire avec un pilote alimenté avec un effluent synthétique puis en station d'épuration réelle. Les biomasses filamenteuses sont de nature différente. Des essais sont réalisés sur des

pilotes à faible charge et nous précisons certaines stratégies d'application du venturi, permettant d'obtenir, outre une amélioration de la décantation, une diminution de la pollution azotée, (COLLIGNON, 1988). Le mode d'action du venturi à émulsion est abordé par le suivi de certains produits de la liqueur mixte.

2 - MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1 L'unité pilote

Le pilote (fig. 1) comporte un réacteur (V_R) relié à un décanteur secondaire (V_D) à partir duquel les boues sont recirculées. L'homogénéisation est effectuée par un système d'hélice et l'aération par bullage d'air. Le mélange est intégral. L'installation comporte une pompe centrifuge (P) de prélèvement de la biomasse, un venturi à émulsion muni d'une prise d'air et un distributeur à émulsion plongeant. Deux venturis de diamètre au col $d_1 = 1,5 \cdot 10^{-2}$ m et $d_2 = 0,5 \cdot 10^{-2}$ m sont testés.

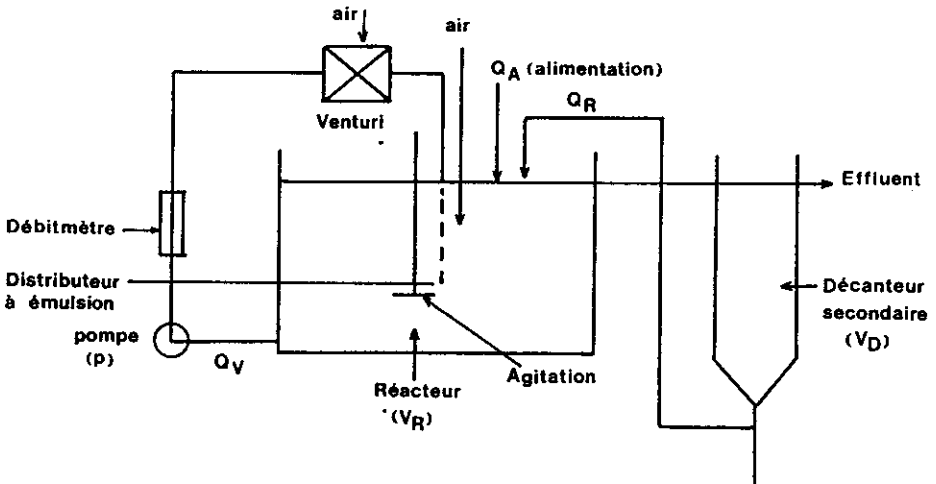


Figure 1 Représentation schématique du pilote.

Experimental apparatus.

Volume de la cuve $V_R = 330$ l.

Volume du décanteur $V_D = 80$ l.

Débit d'alimentation $q_A = 28$ l/h.

Débit de recirculation $q_R = 28$ l/h.

$$\theta = \frac{V_R}{q_A} \# 12 \text{ h.}$$

Débit de la pompe alimentant le venturi $q_V = 6,5$ ou $8,5$ m³/h.

2.2 Principe de fonctionnement

Le procédé peut être appliqué soit sur la biomasse de l'aérateur, soit sur la biomasse en recirculation. Dans les essais présentés dans cet article, (fig. 1), la biomasse est reprise par la pompe alimentant le venturi à émulsion et retourne à l'aérateur.

Des essais sur une installation en vraie grandeur sont actuellement en cours, on y réalise alors une comparaison entre un dispositif appliqué sur la recirculation et celui avec boucle externe (système indépendant de la recirculation comme indiqué sur la fig. 1). Dans l'étude présentée, le procédé pompe plus le venturi est donc indépendant de la recirculation. Dans d'autres essais, le venturi à émulsion est alimenté par la pompe de recirculation.

Dans le procédé présenté, les boues passent par le venturi disposé verticalement au-dessus de l'aérateur ; au niveau du rétrécissement, il se produit une augmentation de la vitesse du liquide. Lorsque le système fonctionne avec entrée d'air, il y a auto-aspiration de l'air extérieur quand la pression statique chute au-dessous de la pression atmosphérique. Il se forme alors une émulsion gaz (air) – liquide (boues) qui est réinjectée dans le réacteur au moyen d'un distributeur.

Le diamètre du col du venturi est tel qu'il y règne un régime turbulent, caractérisé par le nombre de Reynolds de l'écoulement. Par ailleurs, la dépression du col permet à de l'air de pénétrer, créant une agitation complémentaire. L'émulsion air-eau résultant peut agir sur les filaments.

2.3 Conditions de fonctionnement du pilote

a) Le même pilote a été employé au laboratoire et sur le site d'une station d'épuration.

Pour nos essais de laboratoire, les boues sont placées dans des conditions (composition de l'alimentation, oxygène dissous, etc.) qui vont favoriser le développement des bactéries filamenteuses (FORTIN, 1986). La composition des alimentations est donnée dans le tableau 1. La DCO est fixée selon la charge massique (C_M) que l'on veut appliquer.

Les expériences sur station sont réalisées sur une unité à Muzillac (56 - F). Les caractéristiques de l'influent sont également précisées dans le tableau 1.

b) Le tableau 2 précise les conditions de fonctionnement du pilote.

c) Lors d'essais en aération séquentielle ou de fonctionnement continu le dispositif d'aération et la pompe d'alimentation du venturi sont commandés par des horloges.

2.4 Méthodes de quantification

– Matières sèches (MS g/l) : elles sont déterminées par pesée d'un échantillon de boues après évaporation à 105 °C pendant 3 heures. (Standard Methods 208 AZ).

– Matières Volatiles Totales (MVT g/l) : elles sont déterminées après séchage à 600 °C pendant 2 heures et calculées par différence entre les M.S. et le résidu sec (Standard Methods 208 E).

– Indice de Boues (I_B ml/g) : il est calculé d'après le rapport VD_{30}/MS ; il caractérise la décantation des boues (Standard methods 213 E). VD_{30} est le volume de boues obtenu après 30 minutes de décantation (après dilution).

– Demande Chimique en Oxygène (DCO mg O_2/l) : selon la norme AFNOR T-90-101.

– Dosage de l'azote nitrique selon la norme AFNOR T-90-012.

– Détermination analytique des sucres : on emploie la chromatographie en phase gazeuse. Les sucres triméthylsilisés sont séparés sur colonne capillaire (CONNESON, 1988).

Tableau 1 Alimentation du pilote

Table 1 Wastewater characteristics

1) Composition de l'influent en condition de laboratoire		
Glucose	200 mg/l	DCO 400 mg/l
Vianox	0,53 cm ³ /l	
Urée	26 mg/l	
KH ₂ PO ₄	20 mg/l	
K ₂ H PO ₄	20 mg/l	
Solution saline	1 cm ³ /l	(composition de la solution saline : Mg SO ₄ : 2 g/l Fe Cl ₃ : 1,5 g/l Ca Cl ₂ : 25 g/l)
2) Influent en condition de terrain		
MES	500 mg/l	
DCO	1 000 mg O ₂ /l	
NTK	90 mg N/l	
P	25 mg P/l	

Tableau 2 Condition de fonctionnement du pilote

Table 2 Pilot plant operating conditions

	Laboratoire	Terrain
Matières sèches g/l M S	4,2 ± 0,2	4,0 g/l ± 0,2
Matières volatiles totales MVT (g/l)	3,5 ± 0,1	2,9 g/l ± 0,1
Oxygène dissous (mg/l) OD	2 en aération continue 0 à 2 en aération séquentielle	* 0 en fin de période non aérée * 0,5 à 3 selon la localisation de la mesure dans le chenal d'aération en fin de période aérée
Charge massique C'm (kg DCO/kg MS. j)	0,21 ± 0,04	0,06 kg DBO ₅ /kg M.S.j (0,08 kg DBO ₅ /kg MVS).j
Temps de séjour hydraulique moyen θ (h)	12	12
Age moyen de la boue G (j)	8	15

- Vitesse au col $U = \frac{Q_v}{S}$ avec

Q_v = Débit de la pompe alimentant le venturi (m^3/h)
 S = Section au col (m^2)

- Nombre de Reynolds : il est utilisé pour caractériser le régime d'écoulement au niveau du col :

$$R_e = \frac{dU \rho}{\mu} = \frac{dU}{\nu} \quad \text{avec } \nu = \frac{\mu}{\rho}$$

d : diamètre au col du venturi (m).

U : vitesse d'écoulement au col du venturi (m/s).

ρ : masse volumique de l'eau (kg/m^3).

μ : viscosité de l'eau (PI).

ν : viscosité cinématique de l'eau.

N.B. : Ce nombre R_e n'est qu'un indicateur de la turbulence au col. En effet, le paramètre le plus intéressant est U qui est lié à R_e mais surtout qui précise l'auto aspiration d'air dans le col.

- Nombre de passages de la liqueur dans le venturi :

$$n = \frac{T_1 \cdot Q_v}{V_R} \quad \text{avec}$$

T_1 : temps de fonctionnement de la pompe alimentant le venturi.

V_R : volume du réacteur.

3 - RÉSULTATS - DISCUSSIONS

Des essais préliminaires sur petit pilote de laboratoire nous ont permis de préciser certains paramètres de fonctionnement du venturi et en particulier le temps T_1 , la périodicité d'application T , la vitesse de passage au col U . Nos essais sont réalisés ici avec le même pilote de $0,4 m^3$ (volume utile $330 l$) dans les conditions d'une alimentation synthétique en laboratoire et d'une alimentation avec un effluent urbain réel. Les deux séries d'expériences portent sur des conditions d'épuration en faible charge mais les alimentations permettent dans le premier cas de développer un foisonnement à sphaerotilus natans, tandis que dans le second cas, il s'agit de filaments principalement de type microthrix parvicella.

3.1 Résultats d'essais en laboratoire

3.1.1 Essais discontinus

Le venturi à émulsion est appliqué pendant un court temps T_1 avec une séquence de périodicité T . On caractérise les conditions opératoires par : le nombre de passage : $n = T_1 Q_V/V_R$ (ce nombre n compare le volume des boues transitant par le venturi au volume V_R du bassin de boue activée), et par le nombre de Reynolds, $Re = U.d/v$.

Les essais ponctuels montrent qu'il existe une gamme de régime d'écoulement caractérisée par des Re compris entre $0,71.10^5$ et $1,9.10^5$ au niveau du col du venturi, pour lesquels on obtient une bonne amélioration de la décantation (figures 2 et 3) ; des turbulences plus importantes entraînent une défloculation.

On observe lors de ces expériences qu'à l'aération continue vient s'ajouter une légère aération due au passage dans le venturi à émulsion.

Il convient de noter le rôle important de l'introduction d'air dans le venturi, en effet, car le simple passage turbulent sans entrée d'air est beaucoup moins efficace.

L'examen microscopique des filaments montre leur cassure. L'analyse de la liqueur montre l'apparition dans le filtrat de 2 sucres (galactose et acide gluconique) et une forte augmentation en acide glucuronique et sorbitol traduisant la rupture de ponts intercellulaires (fig. 4).

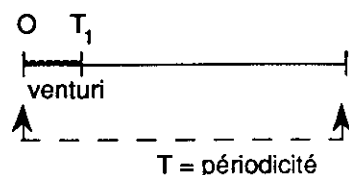
La durée d'application (T_1) qui correspond au temps de passage de la totalité des boues au niveau du rétrécissement ($n = 1$), semble la plus efficace. Par ailleurs, les meilleurs résultats sont obtenus lorsqu'on augmente le temps de latence (T) entre deux applications du venturi, permettant une reconsolidation des floes. Un temps court T_1 d'application implique un fort débit q_V entraînant une défloculation des boues, il semble donc important d'augmenter T_1 ($< T$).

3.1.2 Essais en continu : différentes stratégies d'application du procédé

Le venturi utilisé a pour diamètre au col $d_2 = 0,5.10^{-2}$ m. Le débit appliqué est $Q_V = 1$ m³/h, Re au col du venturi = $0,71.10^5$.

Deux séries d'essais sont présentées, ils diffèrent par les conditions de l'aération de la boue activée :

a) Aération continue :



L'aération du bassin de boues activées est maintenue en permanence. La pompe et le venturi sont utilisés pendant un court moment T_1 à une périodicité T .

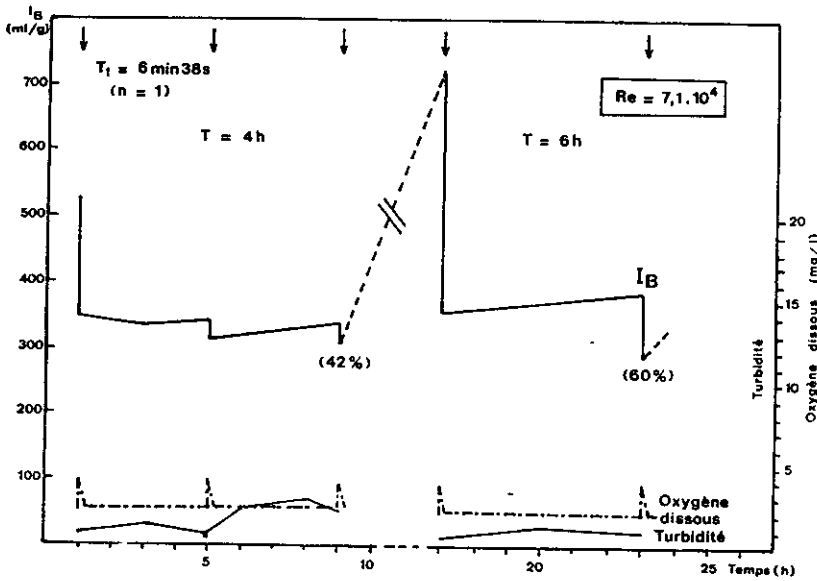


Figure 2 Evolution de l' I_B en fonction du temps pour $Re = 0,71 \cdot 10^5$.
Effect of $Re = 0,71 \cdot 10^5$ on SVI as a function of time.

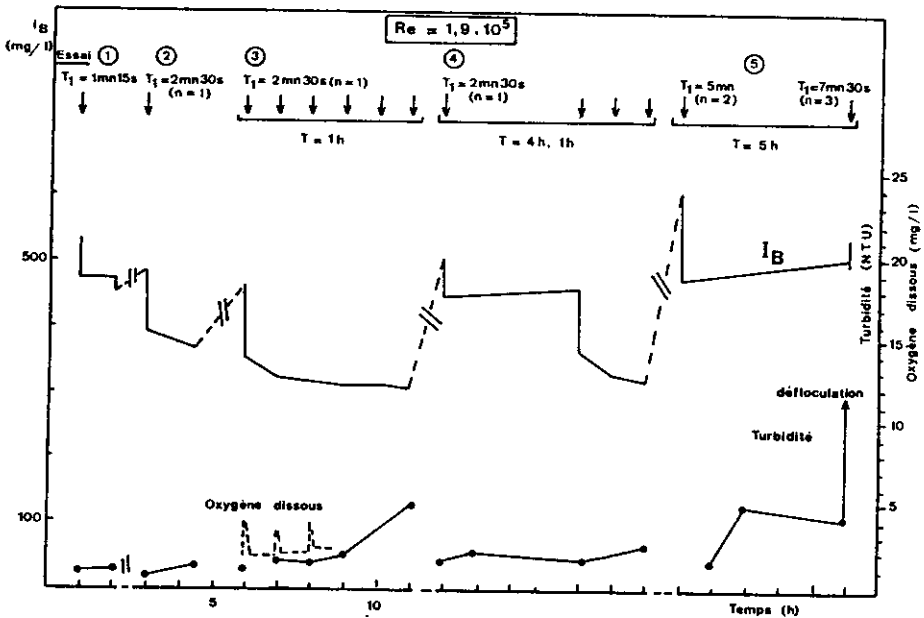
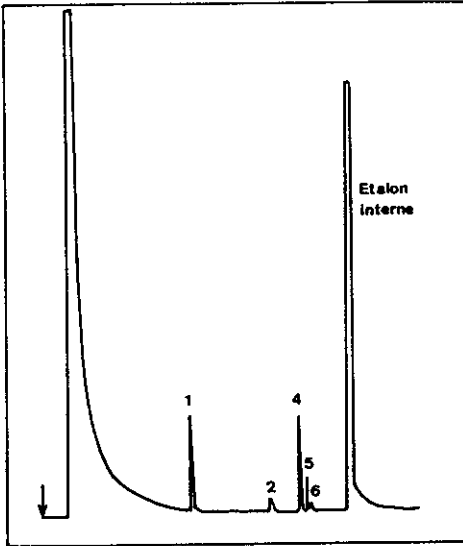


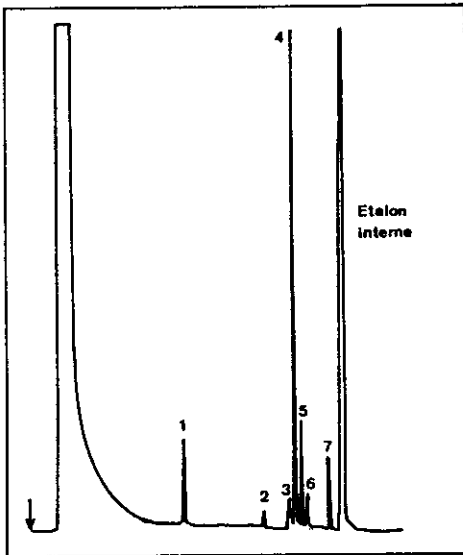
Figure 3 Evolution de l' I_B en fonction de la durée (T_1) et de la périodicité (T), pour $Re = 1,9 \cdot 10^5$.
Influence of T_1 and T on SVI for $Re = 1,9 \cdot 10^5$.

Colonne RSL 150
 Temps injecteur = Temp. détecteur = 220 °C
 Programmation de température : 140 °C à 250 °C



Filtrat avant passage en venturi :

- 1 - Ribose
- 2 - Mannose
- 3 - Acide glucuronique
- 4 - Sorbitol
- 5 - Acide galacturonique



Filtrat après passage en venturi :

- 1 - Ribose
- 2 - Mannose
- 3 - Galactose
- 4 - Acide glucuronique
- 5 - Sorbitol
- 6 - Acide galacturonique
- 7 - Acide gluconique

Figure 4 Chromatogrammes : sucres identifiés dans les filtrats de boues avant et après passage en venturi.

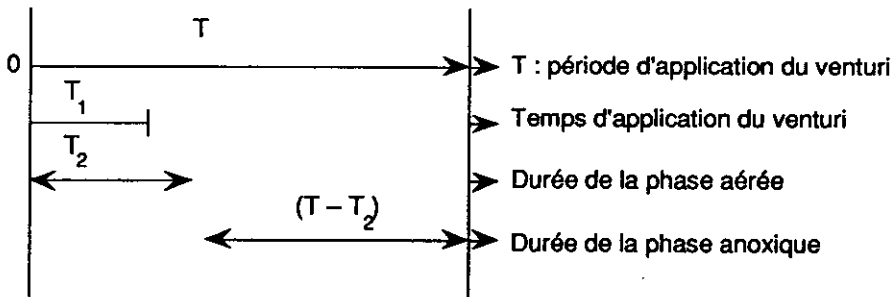
Chromatographic identification of sugars.

Une bonne réduction et un bon contrôle du bulking sont obtenus en procédant à des applications du venturi avec une périodicité $T = 6$ h (puis 8 h). Le maintien d'une biomasse caractérisée par un indice de boues de 200 à 300 ml/g permet d'obtenir des taux d'épuration élevés, souvent supérieurs à ceux obtenus avec des boues « saines » (I_B inférieurs) et de très faibles valeurs de turbidité, les filaments améliorant la clarification de l'effluent (fig. 5). Lorsque l'indice de boue devient très élevé, nous appliquons le dispositif à venturi. L'indice chute instantanément. L'effet est analogue pour $T = 6$ h ou $T = 8$ h.

Le réacteur fonctionnant à faible charge massique avec un apport en N organique important, ce mode d'aération conduit à une teneur élevée en nitrates à l'effluent. Par conséquent, une application intéressante, par exemple, dans le cas de stations fonctionnant à faibles charges, serait de régler en même temps que le problème du bulking, celui de la pollution azotée. Ceci nous a conduit à gérer l'application du venturi en cohérence avec une aération séquentielle, l'auto-aspiration d'air contribuant pour partie à l'aération.

b) Aération séquentielle

Le principe du procédé venturi résidant dans son emploi périodique, par exemple recyclage des boues, il est possible de superposer une aération séquentielle. Le dispositif d'aération fonctionne pendant un temps T_2 , le temps $(T - T_2)$ correspond à l'anoxie. Pendant la période T , le venturi est appliqué durant T_1 .



L'aération séquentielle permet, outre l'amélioration de la décantation, une amélioration de la qualité de l'eau épurée avec nitrification et dénitrification (fig. 6). La comparaison des figures 5 et 6 permet de montrer la bonne dénitrification résultant de la non aération pendant le temps $T_3 = T - T_2$.

L'augmentation du délai entre deux actions du venturi ($T = 12$ h) permet toujours un bon contrôle de l'indice de boues. Les taux d'épuration restent supérieurs à 90 % et comme précédemment, on observe de faibles teneurs en nitrates en sortie dues à l'aération séquentielle (fig. 7).

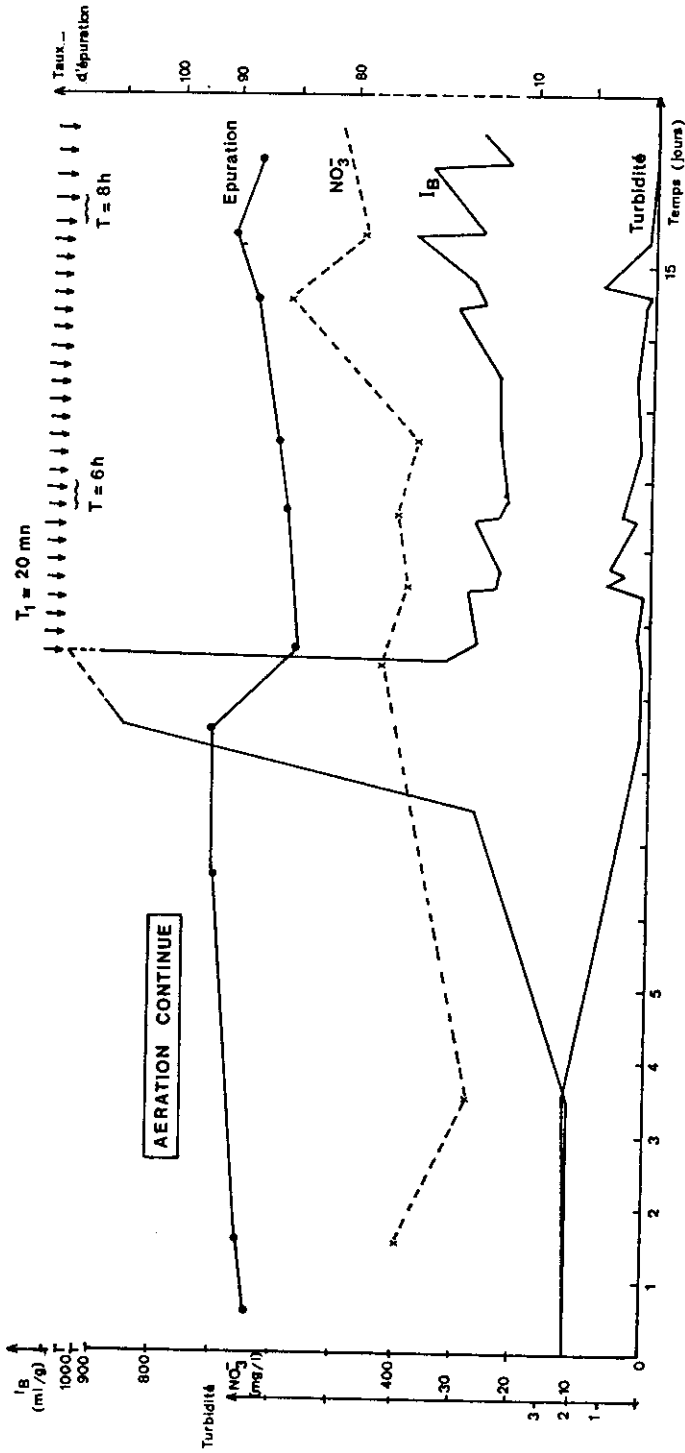


Figure 5 Evolution de I_B , DCO, NO_3^- et de la turbidité en fonction du temps pour $Re = 0,71 \cdot 10^5$, $T_1 = 20 \text{ mn}$, $t = 6 \text{ h}$, 8 h (aération continue).

SVI , COD , NO_3^- and turbidity evolution as a function of time for $Re = 0,71 \cdot 10^5$, $T_1 = 20 \text{ mn}$, $T = 6 \text{ h}$, 8 h (continuous aeration).

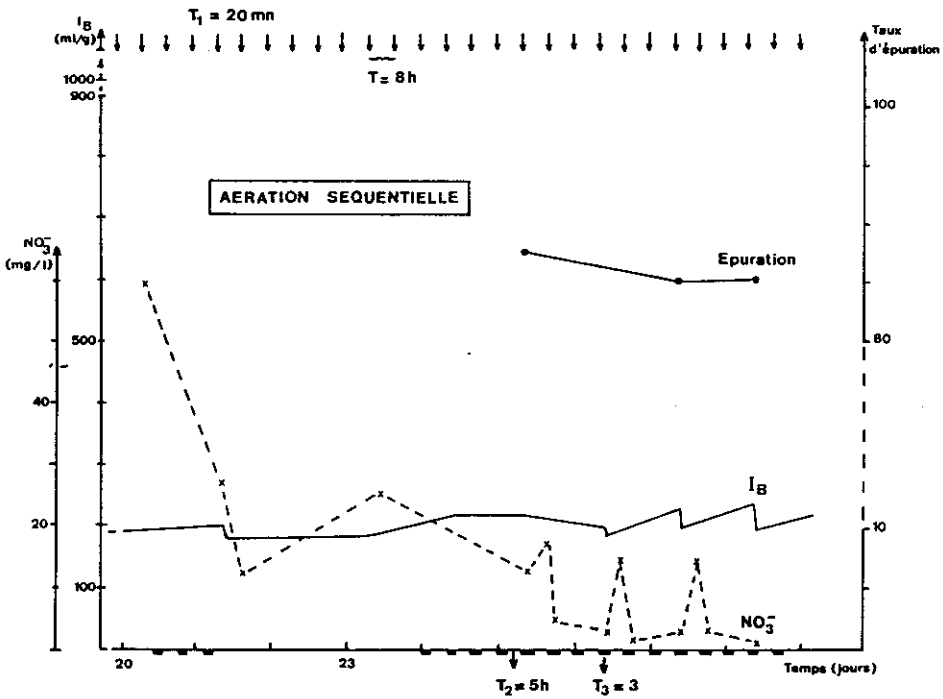


Figure 6 Evolution de l' I_B , DCO et NO_3^- en fonction du temps pour $Re = 0,71 \cdot 10^5$, $T_1 = 20$ mn, $T = 8$ h (aération séquentielle).

SVI, COD and NO_3^- evolution as a function of time for $Re = 0,71 \cdot 10^5$, $T_1 = 20$ mn, $T = 8$ h (sequential aeration), T_2 (aération) = 5 h, T_3 (anoxie) = 3 h.

3.2 Transposabilité. Etude en station urbaine

Après une enquête sur diverses stations à faible charge, nous avons choisi de travailler à MUZILLAC ; l'indice de boues lors de nos essais y était proche de 600 ml/g. Les boues sont constituées de petits blocs d'où sortent des filaments peu étendus à microthrix.

3.2.1 Essais ponctuels

Dans une première phase nous avons, comme au laboratoire, effectué quelques essais ponctuels destinés à vérifier certains paramètres du fonctionnement. Ces essais ont permis d'observer une amélioration de décantation pour des régimes d'écoulement de Re au col entre $1,4 \cdot 10^5$ et $1,9 \cdot 10^5$ correspondant à des vitesses de passage de 9,3 et 12,7 m/s.

Le changement de type de substrat et du filament ne semble pas requérir des conditions nouvelles d'application du procédé à venturi.

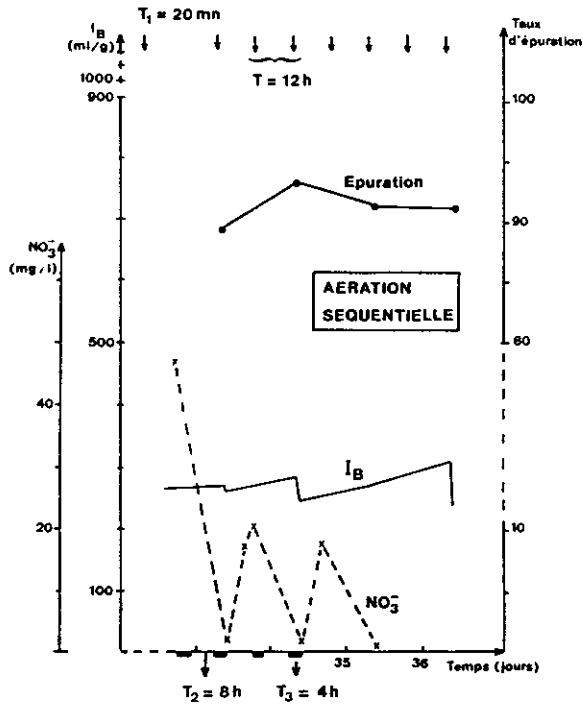


Figure 7 Evolution de l' I_B , DCO et NO_3^- en fonction du temps pour $Re = 0,71 \cdot 10^5$, $T_1 = 20$ mn, $T = 12$ h (aération séquentielle).

SVI, COD and NO_3^- evolution evolution versus time for $Re = 0,71 \cdot 10^5$, $T_1 = 20$ mn, $T = 12$ h (sequential aeration).

3.2.2 Essais en continu

a) Dans un premier temps les boues prélevées dans le bassin de boues activées de la station, sont placées dans le réacteur V_R du pilote. On applique l'aération et l'alimentation en continu. On observe une certaine augmentation de l'indice de boues (570 à 800 ml/g) due aux changements de conditions de milieu.

b) Dans une seconde phase, on met en œuvre le venturi, la figure 8 correspond à $T_1 = 4$ min. ; $T = 6$ ou 8 h. Le diamètre au col du venturi est $d_1 = 1,5 \cdot 10^{-2}$ m. Le débit de la pompe Q_V est de 6,5 ou 8,5 m^3/h , ceci permet de calculer le nombre de Reynolds $Re = 1,5 \cdot 10^5$ et $Re \approx 2 \cdot 10^5$ donc $n = 1$. On observe une stabilisation de l'indice de boue vers 300 ml/g. Si le venturi fonctionne sans prise d'air dans toutes choses égales, par ailleurs, on n'observe pas d'amélioration de l'indice de boues confirmant le rôle essentiel de l'air dans l'émulsion ; cette turbulence provoque le cisaillement des filaments.

4 - CONCLUSION

Le passage ponctuel de boues foisonnantes par un venturi à émulsion peut améliorer la décantation d'une boue activée et augmenter l'élimination de la pollution carbonée.

Lors de l'expérimentation sur le terrain, nous avons mis en évidence l'intérêt pour l'efficacité du procédé de l'augmentation de la turbulence due à l'auto-aspiration d'air au niveau du rétrécissement. Cette dernière est liée à la vitesse de passage de liquide au niveau du col du Venturi. La brutale entrée d'air joue un rôle essentiel dans le mécanisme de « cisaillement » des filaments lorsqu'il se forme l'émulsion air-liquide. En outre, elle contribue à la qualité de l'effluent sortant par oxygénation des boues.

Dans les conditions de fonctionnement du pilote de laboratoire, nous avons pu déterminer une zone optimale de nombre de Reynolds comprise entre 0,7 et $1,9 \cdot 10^5$. On observe une diminution sensible d'efficacité du procédé au-dessous de $0,7 \cdot 10^5$ et une défloculation au-dessus de $1,9 \cdot 10^5$. Ces valeurs correspondaient à des vitesses de passage du liquide au niveau du col de 14 et 38 m/s.

Une bonne gestion des séquences d'application du procédé et d'aération permet, selon la charge des installations, outre la lutte contre le foisonnement, d'assurer une élimination de l'azote de l'eau épurée.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- CAROPRESO F.E., RALEIGH C.W., WARNER J.C., 1974. Attack bulding sludge with H_2O_2 and a microscope, *The Bulletin*, April, 44-50.
- COLLIGNON A., 1988. Le foisonnement filamenteux : étude de deux techniques physico-chimiques de traitement. Thèse. Doctorat de l'Université de Rennes I, n° 297.
- COLLIGNON A., MARTIN G., BESSON G. Brevet en cours de dépôt.
- CUBBEDGE J.E., 1976. Sludge bulking cure : hydrogen peroxide, *Municipal South*, XI-XII, 13.
- FORTIN M.N., 1978. « Recherche sur les conditions de formation et de réduction du foisonnement filamenteux des boues activées ». Thèse de l'Université de Rennes I.
- JENKINS D., NEETHLING J.B., BODE H., RICHARD M.G., 1982. The use of chlorination for control of activated sludge bulking, 11, 187-206, in bulking of activated sludge, Chambers B. et Tomlinson E.J., Ellis Horwood, Limited and WRC.
- MATSCHKE N., 1982. Control of bulking sludge practal experiences in Austria, *Water Science technology*, 16, 1-14.
- PUJOL R., 1987. Maîtrise du foisonnement des boues activées : biosorption et zones de contact, approche méthodologique, thèse, Institut Nationale des Sciences Appliquées de Lyon.
- WAGNER F., 1984. Study on the causes and prévention of bulking in Germany, *Water Science Technology*, 16, 1-14.
- WALLER M.L., HURLEY B.J.E., 1982. Some experiences in the control of bulking activated Sludge, Bulking of activated sludge : preventive and remedial methods, Chambers B., Tomlinson E.J., Ellis Horwood (12).