

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

**LES BACTÉRIES FILAMENTEUSES DANS LE
TRAITEMENT PAR BOUES ACTIVÉES**

DUHAMEL Bernard

Mars 1998

ENGREF Centre de Montpellier
B.P.5093 - 34033 MONTPELLIER CEDEX 01
Tél. : (33) 04 67 04 71 00
Fax : (33) 04 67 04 71 01

OFFICE INTERNATIONAL DE L'EAU
Service National d'Information
et de Documentation sur l'Eau
15 rue Edouard Chamberland
87065 LIMOGES cedex
Tél : (33) 05 55 11 47.80
Fax : (33) 05 55 77 72 24
E-mail : snide@oieau.fr
web : [http ://www.oieau.fr](http://www.oieau.fr)

MOTS-CLE

BACTERIES FILAMENTEUSES, BOUES ACTIVEES, FOISONNEMENT, MOUSSAGE, SELECTEUR, CHLORATION, ECOULEMENT PISTON

RESUME

Action des bactéries filamenteuses sur la décantation.

Problèmes posés par les bactéries filamenteuses dans les traitements par boues activées : croissance dispersée, foisonnement, moussage.

Causes, solutions techniques, protocole d'action pour les exploitants.

INTRODUCTION

Les principaux problèmes de fonctionnement des stations d'épuration par boues activées sont dus aux bactéries filamenteuses. Il semble que de 25 à 75% des stations soient sujettes à ce type de dysfonctionnement [10] [11] [14]. Les bactéries filamenteuses peuvent notamment affecter la décantation des boues, et donc dégrader la qualité de l'effluent rejeté. **Leur contrôle est donc un élément essentiel pour l'efficacité du traitement**, ainsi que pour la protection du milieu récepteur (des phénomènes tels que le foisonnement peuvent provoquer des déversements de boues avec l'effluent « purifié »).

Les conditions de développement de ces microorganismes commencent à être bien connus, et des solutions efficaces existent pour la plupart des cas.

Cette synthèse présente le rôle des bactéries filamenteuses dans le traitement par boues activées, les problèmes qu'elles peuvent poser, et les principaux moyens d'action pour maintenir une épuration de qualité.

PARTICULARITES DES BACTÉRIES FILAMENTEUSES

La croissance des bactéries dans un milieu liquide, en présence de **nutriments** (substances métabolisables), de **substrats** (sources d'énergie) et d'**oxygène**, ne se fait en général pas de façon dispersée. Les microorganismes ont en effet tendance à s'agglomérer. Si ce phénomène se fait sans direction privilégiée, il va se former des floccs plus ou moins compacts. Ceux-ci emprisonnent souvent les particules présentes dans le milieu, qui peuvent servir de points d'attaches initiaux [15] [16]. Mais certaines bactéries peuvent, sous des conditions particulières, se fixer les unes aux autres en suivant une direction particulière. Elles finissent par former des filaments, plus ou moins ramifiés. On qualifie de tels microorganismes de « **filamenteux** ». Les filaments peuvent atteindre une densité de 10^7 mm/ml. [8] [12] [13]

- **DECANTATION DANS LE TRAITEMENT PAR BOUES ACTIVÉES**

Le traitement des effluents par boues activées se fait en deux étapes principales : **fixation de la pollution organique par des microorganismes en excès, et en présence d'oxygène, puis séparation du liquide purifié et des microorganismes lors de la clarification.**

Cette deuxième étape se fait en général dans un clarificateur, par décantation : l'effluent traité est récupéré en surface, et les boues sont pompées en fond de clarificateur. Une partie de ces boues est réinjectée avec l'effluent brut, afin de fournir une biomasse en grande quantité qui digérera la matière organique dissoute. Le surplus de boues est retiré du processus. [1] [13] [14]

Un traitement performant de l'effluent nécessite donc une décantation efficace. Lorsque le fonctionnement de l'installation est correct, une bonne décantation est obtenue grâce au phénomène de floculation des bactéries.

- **RÔLE DES BACTÉRIES FILAMENTEUSES DANS LA FLOCCULATION**

Les floccs se composent de deux types de structures : la **microstructure**, formée par la simple agrégation des microorganismes, et la **macrostructure, fournie par les bactéries filamenteuses** internes au flocc. La microstructure implique des floccs petits, sphériques et

compacts, mais mécaniquement peu résistants. Lorsque des bactéries filamenteuses permettent le développement de la macrostructure, on obtient des floccs moins compacts, dans lesquels les différents microorganismes sont attachés au squelette filamenteux grâce à des polymères extracellulaires. Les floccs présentant une macrostructure permettent une meilleure épuration. De plus, ils sont résistants au stress mécanique. **La présence de bactéries filamenteuses internes est donc utile à la formation des floccs, et à une bonne séparation dans le clarificateur. [15] [16]**

- **PROBLÈMES LIÉS AUX BACTÉRIES FILAMENTEUSES**

On distingue plusieurs problèmes liés aux bactéries filamenteuses.

- **Croissance dispersée.** Si les bactéries filamenteuses sont incapables de fournir la macrostructure des floccs, on voit apparaître des microfloccs trop légers, qui décantent mal. L'effluent surnageant dans le clarificateur est alors mal purifié, et contient beaucoup de matières en suspension (MES). Le volume de boues en bas de clarificateur est très faible (**indice de Mohlman* < 50 cm³.g⁻¹**). Ceci se produit **lorsqu'il y a trop peu de bactéries filamenteuses**, ou qu'elles présentent trop peu de polymères extracellulaires nécessaires à la fixation des bactéries sur l'exosquelette. Ce phénomène reste néanmoins relativement rare, et serait dû la plupart du temps à des apports de toxiques par l'influent à traiter. La conséquence est donc une dégradation importante de la qualité de l'effluent rejeté, qui contient un grand nombre de microorganismes. [2] [13] [14]

- **Foisonnement (ou bulking)** S'il y a **trop de bactéries filamenteuses**, il peut se produire le phénomène de foisonnement, ou bulking. Les filaments dépassent alors des limites du flocc, et peuvent même créer des ponts entre les floccs. On obtient alors une boue avec des teneurs en eau très élevées (**Indice de Mohlman > 200 cm³.g⁻¹**), c'est-à-dire une mauvaise décantation. Le surnageant et l'eau interstitielle sont de très bonne qualité, mais il risque de se produire des débordements de boue vers le milieu récepteur, surtout lorsque le clarificateur a été dimensionné de façon trop juste. En outre, les boues retirées contiennent beaucoup d'eau. Elles sont donc difficiles à sécher. **Ce dysfonctionnement est le plus courant pour les stations d'épuration par boues activées. [8] [13] [15] [16]**

- **Moussage (ou foaming)**. Sous certaines conditions, une écume stable peut se développer. En général, ce problème résulte de la combinaison de filaments avec des produits bien spécifiques apportés par l'influent (substances hydrophobes, graisses, détergents). Ce phénomène peut gêner le fonctionnement de la station. En outre, des dépôts de mousse peuvent se produire lorsqu'il y a du vent. Environ 20% des stations seraient touchées. [14] [15] [16]

* **Indice de Mohlman** : cet indicateur mesure la décantabilité des boues. Il correspond au ratio : Volume de boues après 30 minutes de décantation / Poids de MES présentes dans ce volume. Il est en cm³.g⁻¹. Pour une bonne décantation, l'indice de Mohlman est entre 50 et 100 cm³.g⁻¹. Voir schéma 1.

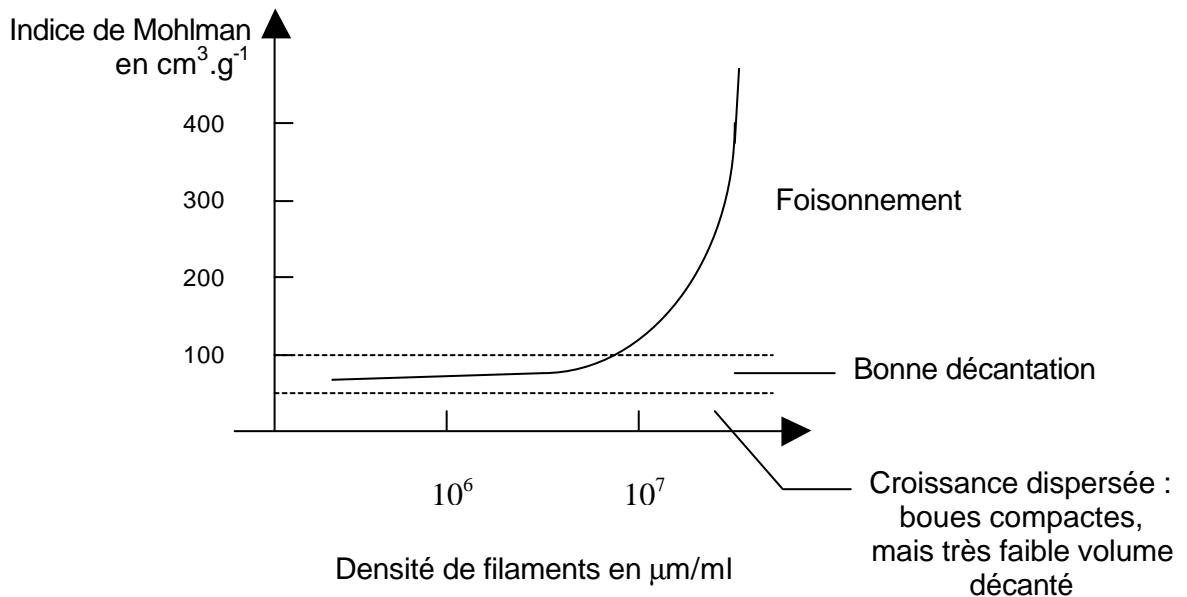


Schéma 1 : Influence de la densité de filaments sur l'indice de Mohlman.

- **CULTURE EN MILIEU MIXTE : UNE MICROFAUNE CHANGEANTE**

Le principe du traitement par boues activées est la fixation des éléments organiques dissouts par des bactéries, au sein d'une liqueur mixte aérée. Dans ce milieu coexiste un grand nombre d'espèces de microorganismes. Quelques espèces peuvent être dominantes sous certaines conditions, mais il est impossible de faire disparaître totalement celles qui sont minoritaires. **Les bactéries filamenteuses sont donc toujours présentes dans le milieu aéré, ainsi que dans la boue activée réinjectée.**

En outre, la biomasse dans la zone aérée doit être en excès. Ceci implique des conditions très sélectives. Toute modification du milieu, notamment par un changement de l'influent brut, peut bouleverser l'équilibre biologique. Ainsi, les micro-organismes dominants ne sont pas toujours les mêmes. [11]

Or les bactéries filamenteuses sont en général bien adaptées aux conditions sélectives (carences en nutriments, en substrats, en oxygène), notamment du fait de leur fort ratio Surface/Volume. Elles sont donc **très compétitives dans le milieu riche en biomasse des bassins aérés**, et elles peuvent se développer rapidement dès que des carences se produisent (voir schéma 2).

De plus, une légère augmentation du taux de bactéries filamenteuses suffit à provoquer le foisonnement : **on considère généralement qu'un taux normal de micro-organismes filamenteux est de 2% de la microfaune totale, alors qu'un bulking sévère survient dès que ce taux atteint 10% [11].** C'est pourquoi les stations de traitement par boues activées sont particulièrement sensibles au foisonnement.

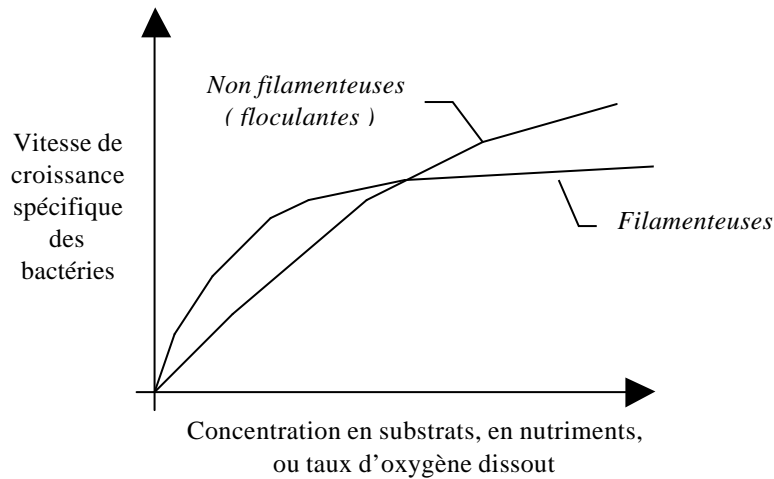


Schéma 2 : Evolution des vitesses de croissance des bactéries filamenteuses et non filamenteuses selon plusieurs paramètres. [13]

Même les stations d'épuration qui fonctionnent correctement la plupart du temps ne sont pas à l'abri de problèmes de foisonnement ou de moussage occasionnels. Il convient d'être conscient qu'une très légère variation des conditions de fonctionnement peut provoquer un foisonnement, et d'être prêt à réagir si un tel épisode se produit.

CONTRÔLE DES PHÉNOMÈNES DE FOISONNEMENT ET DE MOUSSAGE

- ANALYSE DU PROBLÈME

Le foisonnement est le problème le plus fréquent rencontré par les stations d'épuration par boues activées. Néanmoins, ce n'est pas la seule cause possible d'une défaillance du clarificateur. D'autres phénomènes peuvent survenir (floculation dispersée, fermentation des boues, dénitrification...), et ils peuvent éventuellement se produire simultanément. **A chaque cause, il faut associer le remède correct, ou on risque d'aggraver la situation.**

S'il s'avère que l'on fait face à un foisonnement filamenteux, l'analyse ne doit pas s'arrêter là. Il existe en effet une trentaine d'espèces de bactéries filamenteuses, et si toutes partagent certaines caractéristiques, elles présentent néanmoins des spécificités. [7] [10] [15] [16]

Face à un problème de clarification ou de moussage, on suivra donc la procédure suivante::

- analyse du problème : filamenteux ou autre, par observation au microscope;
- si l'on constate qu'il s'agit d'un foisonnement ou d'un moussage filamenteux, il faut déterminer précisément la ou les bactéries filamenteuses présentes en excès. **Ceci peut être fait grâce aux tables qui ont été établies [15];**
- la connaissance des bactéries incriminées, ainsi qu'une analyse de l'installation et de l'influent, doivent permettre de comprendre la ou les causes du problème. Des prélèvements effectués en divers endroits peuvent notamment aider à préciser l'origine du phénomène. Une bonne connaissance du procédé de traitement est en effet indispensable pour déterminer un moyen d'action. Il arrive encore trop souvent que le foisonnement soit dû à une mauvaise exploitation de la station;
- on peut alors déterminer et mettre en pratique la solution adaptée. [12] [14,] [15];

Les solutions peuvent être séparées en deux groupes :

- **non spécifiques** ; elles ne s'attaquent pas à la cause de la prolifération des micro-organismes filamenteux, mais elles rétablissent une clarification efficace. Parmi elles, la plus courante est la chloration. Ce sont des solutions à court terme

- **spécifiques** ; elles consistent à modifier le procédé pour éviter la prolifération des filaments. Si le foisonnement ou le moussage sont fréquents, elles peuvent permettre l'élimination du problème. [10] [12]

• **METHODES SPECIFIQUES**

Les **tableaux 1 et 2** montrent en partie la complexité du contrôle des problèmes filamenteux : diversité des microorganismes incriminés, diverses causes possibles et solutions adaptées. Nous n'y présentons que les solutions spécifiques, susceptibles d'éliminer le problème à long terme. Les raisons de la prolifération des bactéries filamenteuses sous ces conditions sont encore peu connues. Néanmoins, on peut trouver des éléments intéressants chez certains auteurs. [11] [16]

Foisonnement

Cause	Bactéries	Indices	solutions
Carence en nutriments (azote, phosphore ou autres)	021N, Thiothrix spp., S. Natans, 0041, 0675, H. Hydrossis	boues visqueuses, moussage	Ajout des nutriments manquants (atteindre un rapport DBO/N/P = 100/5/1) Attention : la chloration risque d'accentuer le problème
Carence en oxygène	Sphaerotilus Natans, 1701, Haliscomenobacter Hydrossis, Microthrix Parvicella	Fréquent lorsque le rapport nourriture/biomasse est élevé	Augmenter le taux d'oxygène dissout dans le bassin aéré Eventuellement, diminuer le ratio nourriture/biomasse
Ratio nourriture/biomasse trop faible	Nostocoida limicola II, 1851, 0675, 0041, 021N, 0581, 0961, 0803, 0092, Microthrix Parvicella, Thiothrix spp., H. Hydrossis, Nocardia sp.	Fréquent surtout en bassin d'aération à mélange intégral	Créer une zone de contact Compartimenter le bassin d'aération (passage en écoulement piston, création de zones anoxiques...) Entrée pulsée de l'influent
Présence de sulfides (influent septique)	Thiothrix sp., Beggiatoa, 021N, 0914	Une décantation primaire peut produire des sulfides, et être à l'origine du bulking	Elimination ou neutralisation chimique des sulfides Diminution de l'âge des boues
Excès de substances rapidement biodégradables (sucres, amidon)	S. Natans, 021N, Thiothrix spp., H. Hydrossis, Nostocoida limicola, 1851	Souvent couplé à un moussage	Créer une zone de contact
pH bas	Fungi		Correction du pH

Tableau 1 : Causes principales des problèmes de foisonnement, et solutions possibles.

Moussage

Cause	Bactéries	Indices	solutions
Excès d'huiles et de graisses	Nocardia spp., Microthrix parvicella, 0041	Parfois couplé à un foisonnement	Passer en écoulement piston, ou supprimer les huiles et les graisses
Température élevée	Nocardia spp., Microthrix parvicella, 0041		
Age des boues trop élevé	Nocardia spp., Microthrix parvicella, 0041		Augmenter le taux de boues retirées
			Ne pas recycler les boues en cours

Tableau 2 : Causes principales des problèmes de moussage, et solutions possibles.

Conformément au schéma 2, on voit dans le tableau 1 qu'une carence en substrats ou en nutriments est une cause courante du foisonnement. Pour y remédier, on peut procéder à un apport de produits, pour atteindre le rapport DBO/N/P correct (approximativement 100/5/1), ou le ratio nourriture/micro-organismes adéquat.

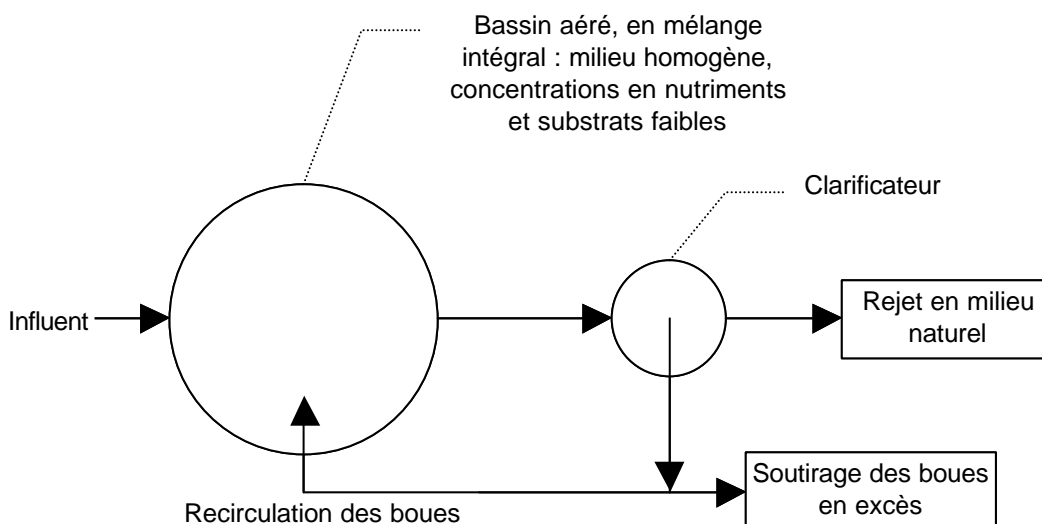


Schéma 31 : Procédé de traitement par boues activées classique, avec bassin d'aération en mélange intégral.

Une autre solution consiste à jouer sur les conditions de mélange et d'aération de l'influent et de la boue retournée, afin d'**augmenter localement les substrats et/ou les nutriments disponibles**. On favorise ainsi la prolifération des bactéries floculantes. On peut par exemple :

- créer une **zone de mélange, ou sélecteur**, aéré ou non, en amont du bassin aéré. Ce sélecteur permet de mélanger l'influent brut, relativement riche en substrats et en nutriments, et la boue recirculée. Le temps de séjour doit y être bref (de l'ordre de 15 minutes). Il se déverse ensuite dans le bassin aéré, où les concentrations en substrats et en nutriments sont plus faibles [3] [9] [12]

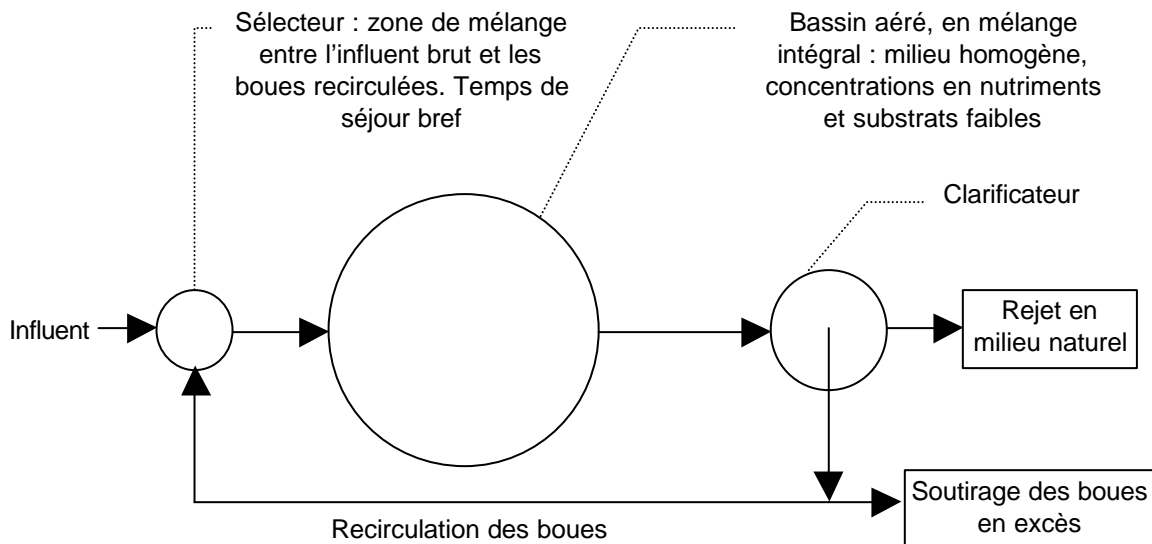


Schéma 3₂ : Procédé de traitement par boues activées, avec sélecteur.

- on peut aussi modifier le bassin d'aération pour en faire un **écoulement piston**. En effet, beaucoup de stations fonctionnent avec des bassins en mélange parfait. Le milieu étant homogène, les concentrations en substrats et en nutriments sont très faibles : elles sont proches de celles du rejet final après décantation. Un écoulement piston permet un **gradient de concentration de ces éléments**, et donc favorise le développement des bactéries floculantes lorsqu'on réinjecte les boues en tête du piston. [13] [16]

- on peut intercaler des **zones anoxiques** qui, en jouant sur les capacités plus grandes des bactéries floculantes à faire des réserves métabolisables, pourront diminuer les risques de foisonnement. En outre, pour une meilleure efficacité du traitement, on peut recirculer la liqueur mixte des zones aérées vers les zones anoxiques [16]

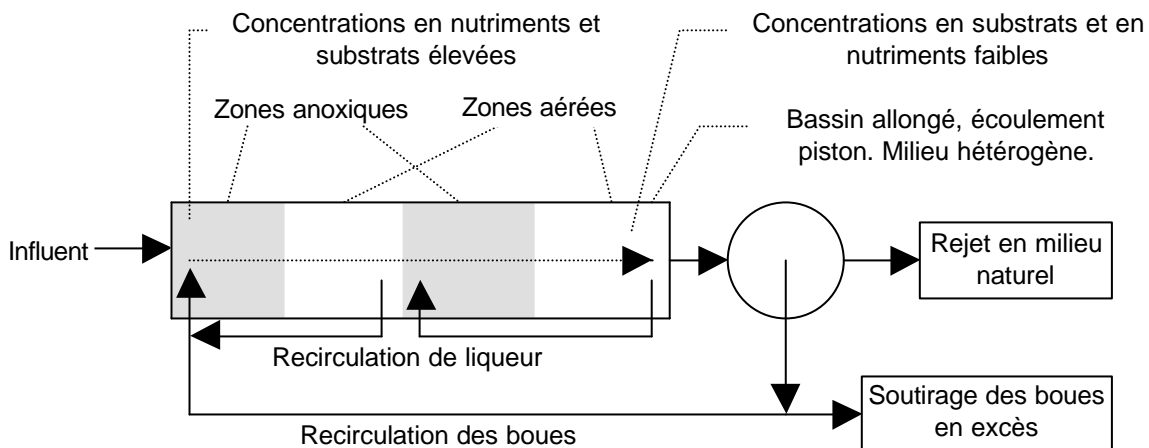


Schéma 3₃ : Procédé de traitement par boues activées, avec écoulement piston [16].

- on peut enfin **injecter l'influent de façon pulsée**, de façon à accroître temporairement les concentrations en substrats et en nutriments (voir schémas 3). [16]

Enfin, une même espèce de bactérie peut proliférer pour plusieurs causes différentes : c'est pourquoi **une analyse de la station et de ses défauts reste indispensable**, même après la détermination des micro-organismes filamenteux impliqués. C'est en confrontant ces deux analyses que l'on trouvera les actions correctes à entreprendre.

- **MÉTHODES NON SPÉCIFIQUES**

La méthode la plus utilisée pour contrer le foisonnement occasionnel, voire même chronique, est **la chloration** (ou l'ajout de substances ayant les mêmes effets : H_2O_2 , ozone...). Elle consiste à injecter du chlore en quantité adéquate (quelques grammes par m^3), souvent dans la canalisation de retour des boues. Les bactéries filamenteuses étant plus sensibles au chlore, cette méthode non spécifique a fait les preuves de son efficacité pour de nombreux cas différents de bulking. La chloration est une technique simple à mettre en place, car les stations utilisent souvent de toutes façons du chlore (désinfection). [5] [9] [14₅]

Parmi les autres méthodes non spécifiques, on peut citer : **l'ajout de coagulants, le surdimensionnement du clarificateur, le choix d'une séparation alternative (filtration, centrifugation...)**... [10]

CONCLUSION

Les problèmes liés aux bactéries filamenteuses sont courants, notamment le foisonnement, qui dégrade la qualité de l'effluent rejeté. **Des méthodes efficaces pour la plupart des cas existent**. Malheureusement, trop souvent les exploitants n'analysent pas la situation de façon assez poussée, et ne choisissent pas la solution la plus judicieuse.

Actuellement, on privilégie en général les actions telles que la chloration, techniquement facile à mettre en oeuvre. Si le foisonnement est récurrent, il peut être plus intéressant, notamment financièrement, de déterminer une solution spécifique.

On constate néanmoins désormais que les problèmes de foisonnement ou de moussage sont de plus en plus pris en compte dès la conception de la station (de plus en plus de stations sont conçues en écoulement piston). Cela nécessite une bonne connaissance de l'influent à traiter [11]. L'élimination de ce type de dysfonctionnement semble donc possible lorsque l'influent est stable, moyennant quelques études supplémentaires, et un investissement initial plus important, à déterminer au cas par cas.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Degrémont. Mémento technique de l'eau, 9ème édition. 1989, 2 tomes, 1459 p.
- [2] **Grandjean B.**. Traitement des eaux usées industrielles. Notes de cours. 1997.
<http://newton.gch.ulaval.ca/~grandjea/gch20273/index.html>.
- [3] **Miller T., Fisher P.**. Selectors : a non-chemical alternative for filament control, octobre 1996.
<http://www.wef.org/abstracts2/9625004.HTM>.
- [4] **Adey A.H., McClintock S.A.**. Industrial wastes symposia : Management and treatment of high strength industrial wastes. Control of filamentous bulking in a complete-mix activated sludge, Octobre 1996.
<http://www.wef.org/abstracts2/9606007.HTM>.
- [5] Southland Environmental, FMC Corporation. Peroxide applications, municipal wastewater : filamentous bulking control, 1996.
<http://www.h2o2.com/applications/municipalwastewater/filamentous.html>.
- [6] **Schuyler R.**. Activated-sludge bulking.
<http://www.rtweng.com/rtw/news02d.htm>.
- [7] Scientific Solutions Ltd.. Short and long term control of bulking, avril 1996.
<http://www.scisol.co.uk/bulking.html>.
- [8] **Hermanowicz S.W.**. Theoretical aspects of bulking in activated sludge. Water Environment research, 1993, vol. 65, n°3, 245-249.
- [9] **Wakefield R.W.**. The practical application of various techniques to control sludge bulking. J.I.W.E.M., 1988, vol.2, n°3, 311-318.
- [10] **Van Leeuwen J.**. A review of the potential application of non-specific activated sludge bulking control. Water SA, 1992, vol.18, n°2, 101-106.
- [11] **Kappeler J., Gujer W.**. Influences of wastewater composition and operating conditions on activated sludge bulking and scum formation. Water Sci. Technol., 1994, vol.30, n°11, 181-189.
- [12] **Pujol R., Boutin P.**. Control of activated sludge bulking : from the lab to the plant. Water Sci. Technol., 1989, vol.21, n°6/7, 717-726.
- [13] **Pujol R., Vachon A., Martin G.**. Guide technique sur le foisonnement des boues activées. Documentation technique de la FNDAE, 1990, n°8.
- [14] Colloque pollutec 1994. Dysfonctionnements biologiques dans les stations d'épuration en boues activées. CEMAGREF, 1994.
- [14₁] **Pujol R.**. Les problèmes biologiques. Evolution de leur compréhension et de leur maîtrise. 9-17.
- [14₂] **Virgolet F.**. Les divers types de moussage. Réflexions pratiques sur l'influence des produits tensio-actifs sur le moussage observé sur les réacteurs biologiques. 19-30.
- [14₃] **Larigauderie A., Nauleau F.**. Mousses biologiques : influence des surnageants de silos à boues. 31-38.
- [14₄] **Canler J-P.**. La zone de contact. 39-51.
- [14₅] **Trousselle C., Hallouin J-H.**. La maîtrise du bulking par la chloration des boues. 53-61.
- [14₆] **Barillot L., Turgis R.**. La maîtrise des mousses biologiques par additifs chimiques. 63-71.
- [14₇] **Duchêne P.**. Les dispositions préventives des problèmes biologiques en boues activées. 73-82.
- [15] **Jenkins D., Richard M.G., Daigger G.T.**. Manual on the causes and control of activated sludge bulking and foaming. Water research Commission. 1986. 165 p.
- [16] **Wanner J.**. Activated sludge bulking and foaming control. Technomic Publication. 1994. 327 p.

BIBLIOGRAPHIC SYNTHESIS

**FILAMENTOUS BACTERIA IN ACTIVATED
SLUDGE PROCESS**

DUHAMEL Bernard

March 1998

ENGREF Centre de Montpellier
B.P.5093 - 34033 MONTPELLIER CEDEX 01
Tél. : (33) 04 67 04 71 00
Fax : (33) 04 67 04 71 01

OFFICE INTERNATIONAL DE L'EAU
Service National d'Information
et de Documentation sur l'Eau
15 rue Edouard Chamberland
87065 LIMOGES cedex
Tél : (33) 05 55 11 47.80
Fax : (33) 05 55 77 72 24
E-mail : snide@oieau.fr

web : <http://www.oieau.fr>

KEY WORDS

FILAMENTOUS BACTERIA, ACTIVATED SLUDGE, BULKING, FOAMING, SELECTOR, CHLORINATION, PLUG-FLOW REACTOR

RESUME

Filamentous bacteria : role in settling in activated sludge process.

Problems due to filamentous bacteria : pin-point flocs, bulking, foaming.

Causes, solutions and analysis of the phenomenon for plant managers.

INTRODUCTION

Filamentous bacteria cause the most frequent operational problems in the activated sludge process. Between one and three plants out of four are subjected to such phenomena. [10] [11] [14]. Filamentous micro-organisms reduce the settleability. This may then affect the quality of the effluent, as an outflow of the sludge may occur.

Filamentous control is important for the efficiency of the process, and for environmental protection.

Conditions of growth of filamentous bacteria are now understood. There are various efficient techniques to control most of these phenomena.

This synthesis describes the role of filamentous micro-organisms in the activated sludge process. Thus we are going to analyse the problems, and the solutions to maintain the objectives of depuration.

CHARACTERISTICS OF FILAMENTOUS BACTERIA

Activated sludge contains **nutrients, substrates and oxygen**. Under such conditions, bacteria grow and tend to aggregate. If this phenomenon occurs normally, the micro-organisms form flocs. These flocs can confine particles, enabling them to settle. [15] [16]

However, some species of bacteria aggregate in just one direction and form filaments. These bacteria are called « **filamentous** ». Such filaments can grow up to 10^7 mm/ml. [8] [12] [13]

- **SETTLING OF ACTIVATED SLUDGE**

The activated sludge process can be divided into two stages : bacterial biomass absorbs the organic pollutants, and then this biomass is settled out from the mixed liquor.

Settling traditionally takes place in a « secondary settling tank ». Treated water flows over the tank. Sludge is pumped out of the tank, and part of it is returned to the process, to provide an excess amount of biomass. The remainder is taken out of the process. [1] [13] [14]

The phenomenon of bioflocculation is very important for efficient settling.

- **FILAMENTOUS BACTERIA IN BIOFLOCCULATION**

The structure of the floc is formed on two levels : **microstructure**, which depends on the aggregation of simple floc-forming bacteria, and **macrostructure provided by filamentous bacteria** inside the floc. Microstructure forms small and compact flocs, but these are mechanically rather weak. Macrostructure forms less compact flocs, but these are larger and floc-formers are firmly attached to the filamentous backbone thanks to extracellular polymers. They can endure mechanical stress. Moreover, these flocs provide more efficient depuration.

Filamentous bacteria are therefore useful to bioflocculation and to the efficiency of the settlement. [15] [16]

- **PROBLEMS DUE TO FILAMENTOUS MICRO-ORGANISMS**

Various problems can occur because of filamentous bacteria.

- **Pin-point floc.** This phenomenon is due to a macrostructure failure, when **there are not enough filamentous bacteria**, or extracellular polymers. Then floc-formers aggregate in light micro-flocs. Very little settlement occurs in the secondary settling tank. There are a lot of suspended solids in the supernatant and in the effluent. The **Sludge Volume Indice (SVI*)** is very low (**SVI < 50 cm³.g⁻¹**), and there is very little settled sludge. This phenomenon seldom occurs. It could be due to toxicants in the influent. The effluent of the plant has a very poor quality. [2] [13] [14]

- **Bulking.** Filamentous bulking occurs when **the biomass is colonised by filamentous bacteria**. The long filaments stretch out of the flocs, hold them apart and hinder settlement. There is a lot of sludge in the sedimentation zone of the secondary settling tank, but its concentration in micro-organisms is very low (**SVI > 200 cm³.g⁻¹**). The supernatant and the interstitial water is very clear, but as the sludge is very poorly compacted, an overflow of the sludge blanket may occur. Moreover, the extracted sludge is very difficult to dry. **This problem is the most common one in activated sludge plants.** [8] [13] [15] [16]

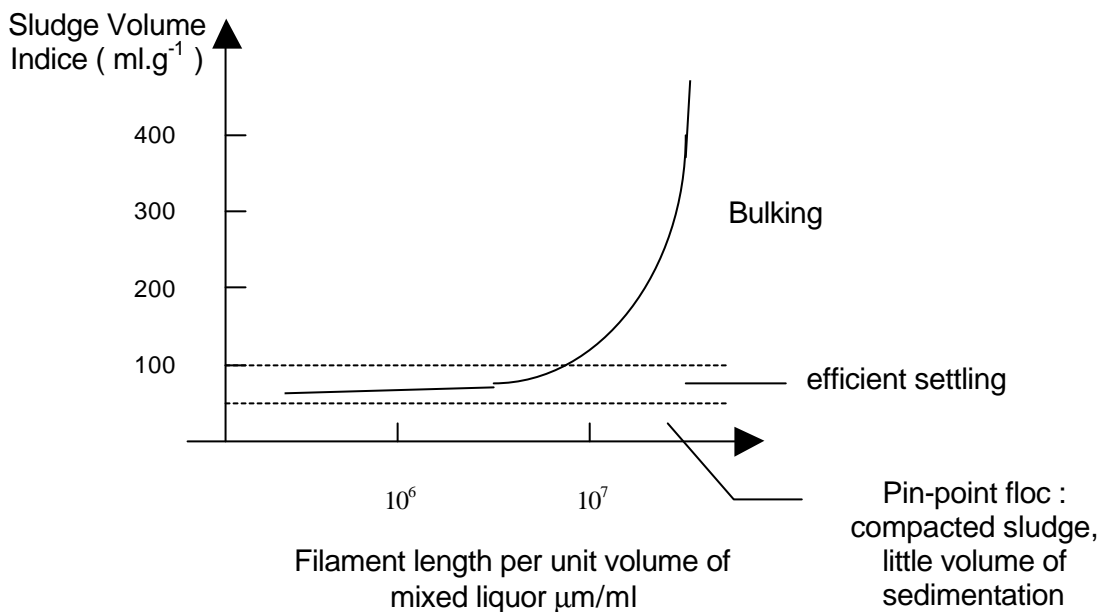


Figure 1 : Correlation between the SVI and the abundance of filaments.

* **SVI** : ($\text{cm}^3.\text{g}^{-1}$) This parameter indicates the settleability of the sludge. SVI = volume of the settled sludge after 30 minutes / weight of suspended solids in this volume. The settlement is efficient when $50 < \text{SVI} < 100$. See figure 1.

• **Foaming** . Scum may appear under specific condition. This phenomenon is generally caused by the combination of two factors : filamentous growth, and the presence of hydrophobic substrates (oil, grease) brought by the influent. It may reduce the efficiency of the treatment. Moreover, foam may be blown away by the wind. Around one plant out of five presents foaming periods. [14] [15] [16]

• **MIXED LIQUOR : CHANGING MICROFAUNA**

Activated sludge should be understood as an artificial living ecosystem under aerobic conditions. Many species coexist in mixed liquor, and **filamentous bacteria are always present in activated sludge**. The usual rate of filamentous bacteria is 2 % of the biomass.

The purpose of the process is to have the organic pollutants digested by bacteria. To reduce the concentrations of pollutants, there must be a large amount of biomass in the basin. That is why activated sludge is cultivated under limiting conditions. There is strong competition between the various micro-organisms, and only the best-adapted grow to be dominant. Thus, when the conditions change, the microbial composition of mixed liquor is not constant, and the dominant species may change too. [11] [16]

Most of the filamentous bacteria are adapted to selective conditions (low nutrient or substrate concentrations, shortage of oxygen...), because of their great surface area to volume ratio. Thus they may grow as soon as the conditions are unusually limiting (see figure 2).

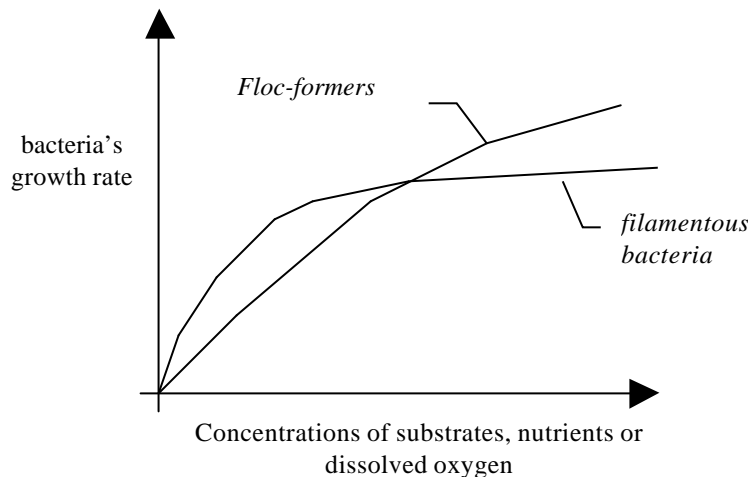


Figure 2 : Correlation between the growth rate of filamentous bacteria and floc-formers, and the abundance of some elements. [13]

Moreover a slight increase in the rate of filamentous micro-organisms may cause bulking : a serious bulking incident occurs as soon as this rate reaches 10 % of the biomass [11].

That is why the activated sludge plants are so vulnerable to bulking. The risk of occasional bulking or foaming can not be totally eliminated in these plants. The manager has to be aware that a slight change of the influent or of the process may cause bulking, and he must know how to react if such a phenomenon occurs.

ACTIVATED SLUDGE BULKING AND FOAMING CONTROL

- ANALYSIS OF THE PHENOMENA

Filamentous bulking is the most frequent problem of activated sludge plants. However, other phenomena may cause a failure of settling (pin-point floc, denitrification in the second settling tank, fermentation of sludge...). And often several problems occur at the same time. **The manager has to find the most suitable solution to each specific problem, otherwise he may worsen the situation.**

Besides the simple determination of the kind of phenomenon occurring may not be sufficient. There are around thirty species of filamentous bacteria, and the way of controlling bulking or foaming depends on the incriminated bacteria. [7] [10] [15] [16]

Settling failure or foaming should be reacted to by :

- determining the problem (are filamentous micro-organisms involved ?)
- in case of filamentous bulking or foaming : identifying the incriminated filamentous species, thanks to **dichotomous keys** [15]
- analysing the process and influent to understand the real causes of the phenomenon : identifying the dominant filamentous bacteria is not sufficient since a single species of bacteria may grow under various conditions. Moreover samples from different places must be analysed in order to determine the deficient stage. The problem may be solved just by better management of the plant
- then the best solution can be chosen and put into practice. [12] [14,] [15]

There are two kinds of control of filamentous micro-organisms :

- **non-specific**; these methods do not eliminate the cause of the growth of the filamentous bacteria. They reduce the phenomenon, and allow better settling. They can be used to react quickly, and protect final water quality. This is short term control.
- **specific**; these methods consist of changing the process in order to avoid the proliferation of filamentous bacteria. When bulking or foaming is frequent, they may remove the problem. [10] [12]

- SPECIFIC METHODS

The **tables 1 and 2** stress the numerous filamentous species involved in bulking and foaming, and then the various possible causes and solutions. These tables deal only with specific methods, which may allow long term solutions. Many studies present the particular conditions under which a species may grow dramatically. However the true biological reasons of the growth of such or such filamentous species under these conditions are still little known.[11] [16]

Bulking

Cause	Bacteria	Clues	Solutions
Nutrient deficiency (nitrogen and/or phosphorus, or trace nutrients)	021N, Thiothrix spp., S.Natans. 0041, 0675, H. Hydrossis	viscous activated sludge, foam	Addition of the required nutrients to reach the ratio: BOD/N/P=100/5/1
			Caution : chlorination may worsen the phenomenon
Low dissolved oxygen	Sphaerotilus Natans, 1701, Haliscomenobacter Hydrossis, Microthrix Parvicella	The higher the F/M ratio. the more DO is required to avoid bulking	Increase aeration basin DO concentration
			Lower the F/M ratio
Low F/M bulking	Nostocoida limicola II. 1851,0675,0041,021N, 0581, 0961, 0803, 0092, Microthrix Parvicella, Thiothrix spp., H. Hydrossis, Nocardia sp.	Completely-mixed systems, continuously fed	Contact zone
			Compartmentalization of aeration basins
			Intermittent feeding of wastes
Septic wastewater/sulphide	Thiothrix sp., Beggiatoa, 021N. 0914	Primary settling may favour sulphides	Removal of sulphides, or chemical neutralisation
			Decrease sludge age
Too many readily biodegradable substrates	S. Natans, 021N, Thiothrix spp., H Hydrossis, Nostocoida limicola, 1851	Scum	Contact zone
Low pH	Fungi		Correction of pH

Table 1 : main causes of filamentous bulking, and solutions

Foaming

Cause	Bacteria	Clues	Solutions
Presence of oil and grease	Nocardia spp., Microthrix parvicella, 0041	Slight bulking	Plug-flow reactor, or removal of grease and oil from the influent
High temperature	Nocardia spp., Microthrix parvicella, 0041		
High sludge age	Nocardia spp., Microthrix parvicella, 0041		Decrease returned sludge volume
			Do not return actual sludge

Table 2 : main causes of filamentous foaming, and solutions.

In accordance with figure 2, we notice that a shortage of nutrients or substrates is a common cause of bulking. This problem can be solved by the addition of food to reach the ideal BOD/N/P ratio (100/5/1), or the ideal Food/Biomass ratio.

Another solution consists of modifying the process to change the mixing and aerating conditions. Thus **the concentrations of substrates and/or nutrients can be increased locally**. The aim of such systems is **to favour the growth of floc-formers**. Some possibilities are :

- to create a **contact zone (or mixing zone, or selector)**. It can be aerated or anoxic. In this selector, returned sludge is mixed with the influent, which has high concentrations of substrates and nutrients. Indeed mixed liquor of completely mixed aeration basin has low food concentration, as it is the same concentration as the final effluent. The detention time in the selector must be short (about 15 minutes) [3] [9] [12]

- instead of a completely mixed tank, the aerating basin could be a **continuous plug-flow reactor**. The plug-flow provides a **gradient of the concentrations of substrates and nutrients**. Thus the growth of floc-formers is favoured when sludge is returned at the head of the reactor [13] [16]

- some **anoxic zones** may be added. This system favours the floc-formers which have greater capacities for the stockage of organic compounds. Moreover liquor should be returned from the aerated zones to the anoxic zones to reach a better depuration [16]

- thanks to **sequencing batch reactors**, the concentrations of substrates and nutrients can be temporary increased. If the sludge is returned at the same time as the influent is injected, the floc-formers are favoured (see figures 3). [16]

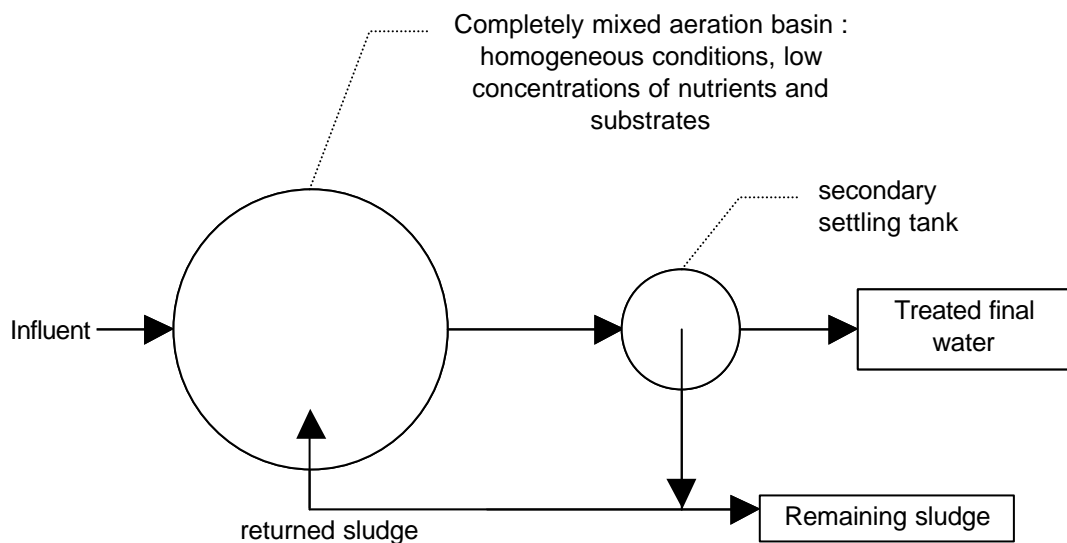


Figure 3_r : Activated sludge process with completely mixed aeration basin.

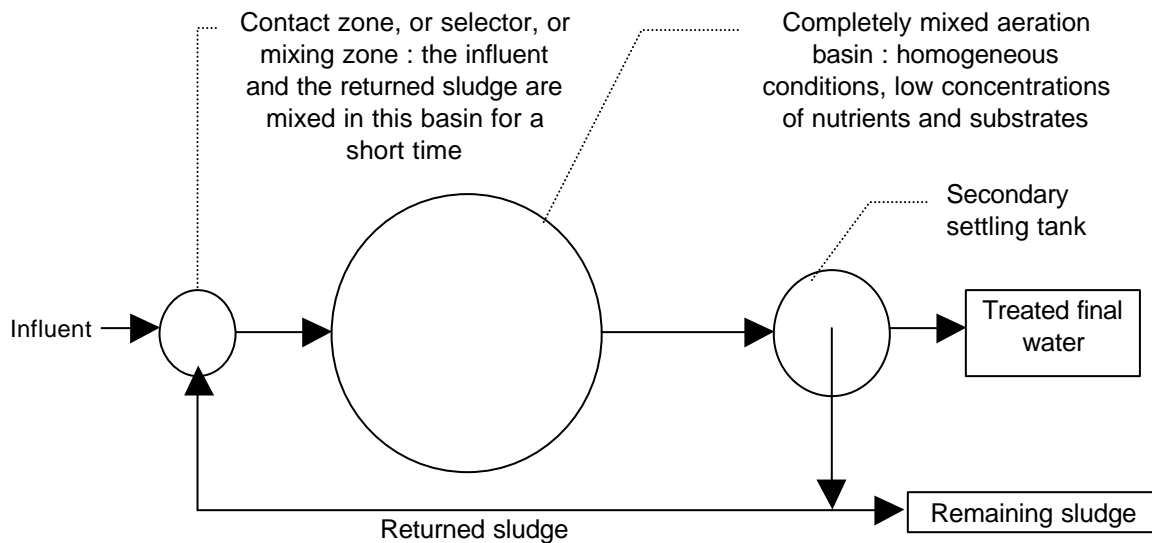


Figure 3₂ : Activated sludge process with contact zone.

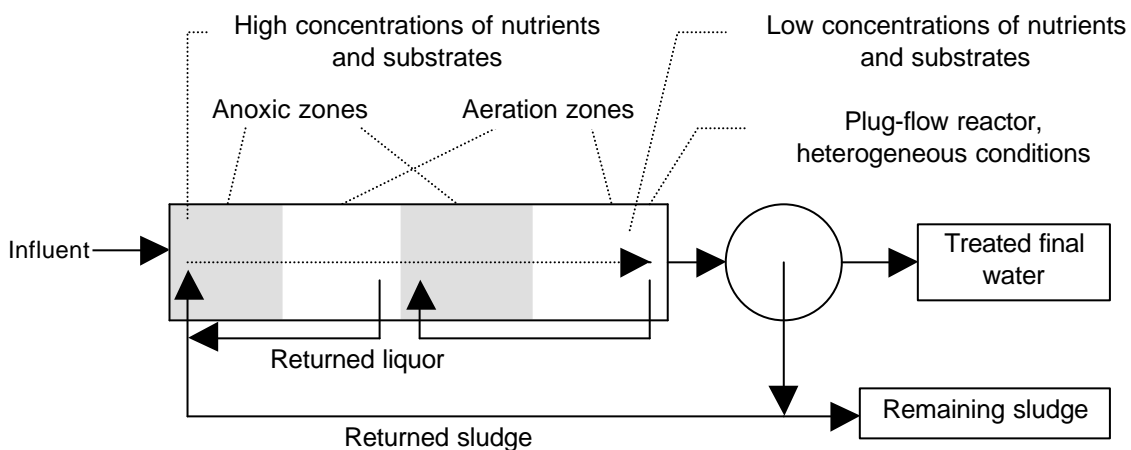


Figure 3₃ : Activated sludge process with plug-flow reactor [16].

- **NON-SPECIFIC MEASURES**

The most common method used to reduce the rate of filamentous micro-organisms is **chlorination** (or addition of other toxicants such as ozone, hydrogen peroxide...). It consists of adding chlorine, generally to returned sludge. Because of their great surface/volume ratio, filamentous bacteria are more sensitive to this kind of toxicant. This method has proved to be efficient in many cases of bulking. However, it is very important to adopt the correct strategy for dosing. This method is all the more practical as the plants usually already use chlorine, for disinfecting for instance. [5] [9] [14₅]

There are other non-specific measures, such as **the addition of coagulants, secondary settling tanks with larger capacities** (however in this case denitrification may occur), **alternative separation** (filtration, centrifugation...). **[10]**

CONCLUSION

Proliferation of filamentous bacteria is frequent, especially bulking, which decreases the quality of final treated water. **There are efficient measures.** But managers often choose non-specific solutions, whereas some studies could provide long term measures, and therefore put an end to this phenomenon.

Chlorination is used most of the time because modifying an existing process could be expensive. The best solution consists of analysing the ways filamentous bacteria may eventually proliferate (kind of influent, conditions during the process...) during the design of the plant. Then the constructor may choose some alternative process (plug-flow reactor, sequencing batch reactor...) to avoid the main causes of bulking in this specific kind of plant.

When the correct studies are made during the conception of the plant, and when the composition of the influent does not change, specific solutions may be economically viable. Moreover these are often the best solutions for protecting the environment.

BIBLIOGRAPHY

- [1] **Degrémont.** Mémento technique de l'eau, 9th edition. Rueil, Degrémont, 1989, 2 volumes, 1459p.
- [2] **Grandjean B.** Traitement des eaux usées industrielles. Notes de cours. 1997.
<http://newton.gch.ulaval.ca/~grandjea/gch20273/index.html>.
- [3] **Miller T., Fisher P.** Selectors : a non-chemical alternative for filament control, October 1996.
<http://www.wef.org/abstracts2/9625004.HTM>.
- [4] **Adey A.H., McClintock S.A.** Industrial wastes symposia : Management and treatment of high strength industrial wastes. Control of filamentous bulking in a complete-mix activated sludge, October 1996.
<http://www.wef.org/abstracts2/9606007.HTM>.
- [5] Southland Environmental, FMC Corporation. Peroxide applications, municipal wastewater : filamentous bulking control, 1996.
<http://www.h2o2.com/applications/municipalwastewater/filamentous.html>.
- [6] **Schuyler R.** Activated-sludge bulking.
<http://www.rtweng.com/rtw/news02d.htm>.
- [7] Scientific Solutions Ltd.. Short and long term control of bulking, April 1996.
<http://www.scisol.co.uk/bulking.html>.
- [8] **Hermanowicz S.W.** Theoretical aspects of bulking in activated sludge. Water Environment research, 1993, Vol. 65, N°3, 245-249.
- [9] **Wakefield R.W.** The practical application of various techniques to control sludge bulking. J.I.W.E.M., 1988, 2, N°3, 311-318.
- [10] **Van Leeuwen J.** A review of the potential application of non-specific activated sludge bulking control. Water SA, 1992, 18, N°2, 101-106.
- [11] **Kappeler J., Gujer W.** Influences of wastewater composition and operating conditions on activated sludge bulking and scum formation. Water Sci. Technol., 1994, 30, N°11, 181-189.
- [12] **Pujol R., Boutin P.** Control of activated sludge bulking : from the lab to the plant. Water Sci. Technol., 1989, 21, N°6/7, 717-726.
- [13] **Pujol R., Vachon A., Martin G.** Guide technique sur le foisonnement des boues activées. Documentation technique de la FNDAE, 1990, N°8.
- [14] Colloque pollutec 1994. Dysfonctionnements biologiques dans les stations d'épuration en boues activées. CEMAGREF, 1994.
- [14.1] **Pujol R.** Les problèmes biologiques. Evolution de leur compréhension et de leur maîtrise. 9-17.
- [14.2] **Virgolet F.** Les divers types de moussage. Réflexions pratiques sur l'influence des produits tensio-actifs sur le moussage observé sur les réacteurs biologiques. 19-30.
- [14.3] **Larigauderie A., Nauleau F.** Mousses biologiques : influence des surnageants de silos à boues. 31-38.
- [14.4] **Canler J-P.** La zone de contact. 39-51.
- [14.5] **Trousselle C., Hallouin J-H.** La maîtrise du bulking par la chloration des boues. 53-61.
- [14.6] **Barillot L., Turgis R.** La maîtrise des mousses biologiques par additifs chimiques. 63-71.

[14.7] Duchêne P. Les dispositions préventives des problèmes biologiques en boues activées. 73-82.

[15] Jenkins D., Richard M.G., Daigger G.T. Manual on the causes and control of activated sludge bulking and foaming. Water research Commission. 1986. 165 p.

[16] Wanner J. Activated sludge bulking and foaming control. Technomic Publication. 1994. 327 p.