

## EFFECT OF THE FOOD-TO-MICROORGANISM RATIO ON AEROBIC GRANULATION

HENRIQUES JUSTINE<sup>1,2</sup>, YIN JIN<sup>1,3</sup>, WAN JUNFENG<sup>3</sup>, CASELLAS MAGALI<sup>1</sup>,  
DAGOT CHRISTOPHE<sup>4</sup>

<sup>1</sup> PEIREINE, 16 rue Atlantis, Limoges, France

<sup>2</sup> EXOCELL, 121 rue du Galibot, Lallaing, France

<sup>3</sup> School of Chemical Engineering and Energy, 100 Science Avenue, Zhengzhou, China

<sup>4</sup> INSERM 1092, 2 rue du Docteur Marcland, Limoges, France

**Abstract:** The utilization of aerobic granular sludge (AGS) conjugates compactness and productivity. But, the formation of granules needs appropriate operational conditions like food-to-microorganism (F/M) ratio. This research is focused on the optimal F/M ratio to maximize the reactor capacity while forming AGS. Aerobic granulation could be achieved with a COD removal efficiency higher than 90% for a F/M ratio below 1,5 kgCOD.kgVSS<sup>-1</sup>.d<sup>-1</sup>.

**Keywords:** Aerobic granular sludge, SBR, Food-to-microorganism, F/M ratio, COD loading, Wastewater treatment

### 1. INTRODUCTION

La technologie des boues granulaires aérobies appliquée au traitement des effluents est en plein essor depuis une quinzaine d'années du fait de ses propriétés spécifiques liées à la structure granulaire par comparaison à une boue activée conventionnelle. En particulier, les granules possèdent intrinsèquement une excellente décantabilité, peuvent effectuer au sein du même ouvrage différents traitements (carbone et azote), supportent des charges plus élevées et la présence éventuelle de composés toxiques [1].

Cependant, la formation de ces granules nécessite des conditions opératoires particulières afin de permettre l'auto-agrégation des micro-organismes. Les granules sont généralement obtenues en mode séquentiel (Sequential Batch Reactor - SBR) associant au sein d'un cycle des phases d'alimentation, d'aération, de décantation, de vidange et, si nécessaire, une étape anoxie. La sélection des granules est alors effectuée par la maîtrise de la durée de la phase de sédimentation. Mais d'autres paramètres comme la charge en carbone semble influencer le processus de granulation [2], bien que l'étude de ce paramètre soit peu étudiée dans la littérature.

Ainsi, ce travail a pour objectif d'optimiser la charge massique permettant de parvenir à la formation de boues granulaires aérobies, tout en réalisant un traitement efficace de l'effluent.

### 2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

#### 2.1. Pilote de laboratoire

Le pilote de laboratoire est un réacteur cylindrique avec un volume utile de 1L, avec un diamètre intérieur de 5 cm et une hauteur de 50 (figure 1). L'effluent est alimenté en bas du réacteur à l'aide d'une pompe péristaltique. Une seconde pompe permet la vidange du réacteur à une hauteur de 25 cm. Ainsi, le ratio volumique d'échange, défini comme le ratio entre le volume d'eau traitée durant un cycle et le volume de travail, est égal à 0,5. Lors du fonctionnement en mode SBR, des horloges permettent la succession des différentes étapes. L'air est introduit dans le réacteur à l'aide d'une pompe puis est distribué dans le réacteur par un diffuseur poreux. Son débit est contrôlé et réglé grâce à un débitmètre. L'air permet également le mélange du réacteur. Lors des phases anoxie, un agitateur peut être présent pour homogénéiser le réacteur.

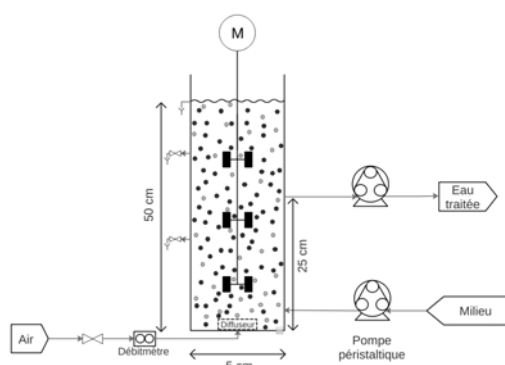


Figure 1. Schéma du pilote de laboratoire pour un fonctionnement SBR

## 2.2. Conditions opératoires appliquées

Le pilote de laboratoire, inoculé avec des boues granulaires anaérobies préalablement aérées durant 72 heures, fonctionne en mode séquentiel (SBR), avec des cycles de 4 heures. Ce cycle est composé des phases d'alimentation, aération, décantation et vidange. Durant la phase d'aération, l'air est introduit à un débit constant de 4 L/min, soit une vitesse de **3,4 cm/s**. La durée de décantation est graduellement réduite afin de lessiver progressivement les floccs (tableau 1). Les boues sont tamisées à deux reprises au jours 115 et 143 avec des seuils de coupure respectifs de 2,5 et 1,0 mm. L'agitateur est seulement ajouté après 170 jours de fonctionnement suite à la succession de deux phases aérobies et deux phases anoxies.

Tableau 1. Cycle SBR utilisé pour le réacteur de laboratoire (Essai C)

Période (j)	Alimentation (min)	Aération (min)	Anoxie (min)	Décantation (min)	Vidange (min)	Repos (min)	Durée totale (h)
0 - 31	1	229	-	3	7	-	4
32 - 44	1	234	-	<b>2</b>	3	-	4
45 - 169	1	235	-	<b>1</b>	3	-	4
170 - 213	1	<b>120+120</b>	<b>57+57</b>	1	3	<b>1</b>	<b>6</b>

L'effluent utilisé est un effluent synthétique composé d'acétate, d'ammonium, hydrogénophosphate ( $[DCO] = 650 \text{ à } 1300 \text{ mgO}_2/\text{L}$  ;  $[N-NH_4^+] = 65 \text{ mg/L}$  ;  $[P-PO_4^{3-}] = 13 \text{ mg/L}$ ). Le pH de l'effluent est de  $6,4 \pm 0,5$  et la température est de  $19 \pm 2^\circ\text{C}$ .

## 2.3. Le suivi du procédé

Les performances épuratoires pour l'élimination du carbone, azote et phosphore à l'issue du cycle ont été évaluées pendant 213 jours tandis que l'évolution de la structure des granules a été suivie par différentes techniques (MES, MVS, indice de Mohlman, EPS, microscopie).

## 3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

### 3.1. Granulation des boues

Un pilote de 1 L a été suivi pendant 213 jours en fonctionnement SBR pour apprécier la granulation des boues et l'efficacité du réacteur en matière d'élimination de la charge organique.

Le rapport entre les indices de Mohlman à 5 et 30 minutes ( $IM_5/IM_{30}$ ) permet d'apprécier la décantabilité des boues. Ainsi, la figure 1 confirme une décantabilité élevée de l'inoculum, une boues granulaire anaérobie, puisque la valeur du ratio  $IM_5/IM_{30}$  est égal à l'unité. Ensuite, la décantabilité des boues se détériore durant les 64 premiers jours et la microscopie optique confirme la présence de boues flocculées (figure 3A), caractéristique d'une décantabilité moyenne. Après 66 jours, la concentration en DCO de l'effluent a été réduite, passant de

1300 à 650 mgO<sub>2</sub>/L, ce qui a réduit la charge massique à 1,5 kgDCO.kgMVS<sup>-1</sup>.j<sup>-1</sup>. Après 87 jours de fonctionnement SBR, la granulation totale des boues peut être observée suite à la diminution du rapport entre les indices de Mohlman à 5 et 30 minutes (figure 1).

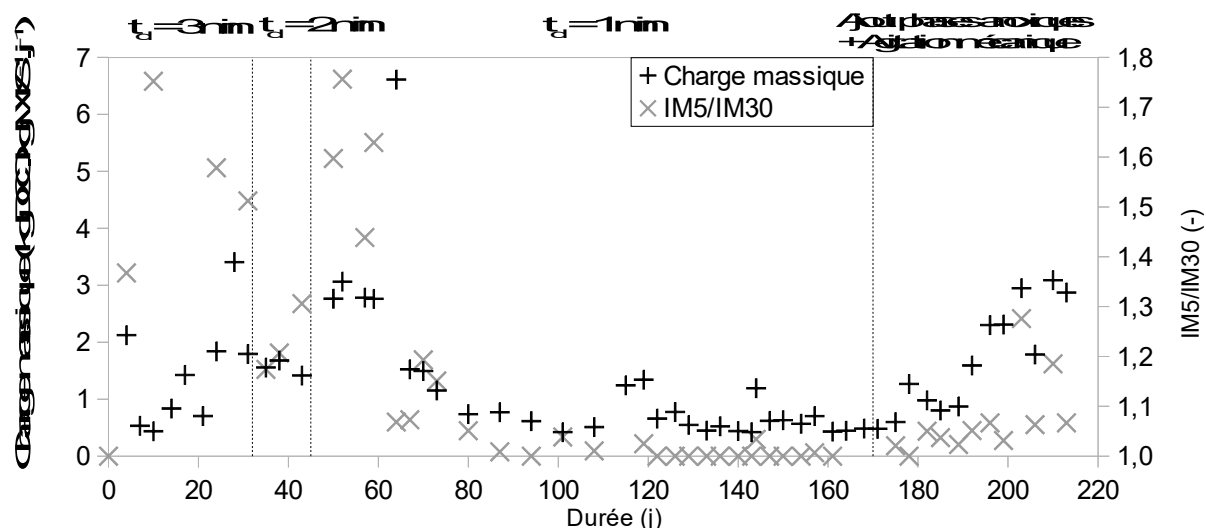


Figure 2. Évolution de la charge massique et du rapport entre l'indice de Mohlman à 5 et 30 minutes (t<sub>d</sub> : durée de la phase de décantation ; IM : Indice de Mollhman)

### 3.1. Propriétés des granules

Les granules formés ont un indice de boue variable entre 141 et 42 mL/g. Cette période transitoire, pour la formation de granules matures, passe par la croissance d'un biofilm non compact à la surface des granules ainsi que la rupture des granules (figures 3 B et C), qui peuvent avoir un impact non négligeable sur la décantabilité des boues. Puis, elles se densifient et présentent une structure compacte (figure 3D). Après 170 jours, la décantabilité des boues diminue, ce qui coïncide avec la mise en place de l'agitation mécanique et les phases anoxies. Leur perte pourrait s'expliquer par le cisaillement important dû à l'agitateur induirait la rupture des granules.

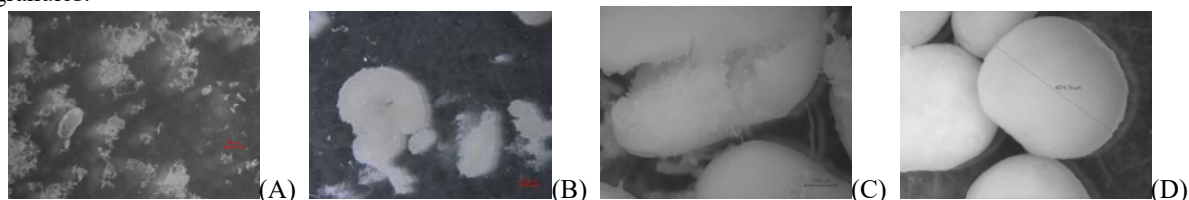


Figure 3. Microscopie optique des boues après 7 (A), 70 (B), 102 (C) et 113 (D) jours de fonctionnement

### 3.2. Les performances du procédé

Le traitement de la DCO est très performant avec une concentration dans l'eau traitée inférieure à 70 mg/L à partir du 4<sup>ème</sup> jour (figure 4A), et pour l'ensemble de l'essai. Bien que nous ayons vu que la granulation complète des boues ne semble possible que si la charge est inférieure à 1,5 kgDCO.kgMVS<sup>-1</sup>.j<sup>-1</sup>, il semble possible de traiter des charges massiques comprises entre 0,4 et 3,4 kgDCO.kgMVS<sup>-1</sup>.j<sup>-1</sup> avec un rendement supérieur à 90 %.

Durant les 80 premiers jours, la concentration en ammonium dans l'eau traitée fluctue entre 6 et 55 mgN/L, avec des concentrations en nitrate et nitrite nulles (figure 4B), ce qui suggère une assimilation lors de la croissance de la biomasse. Ensuite, cette concentration diminue jusqu'à être nulle après 140 jours, avec une augmentation des concentrations en nitrite et nitrate, montrant l'apparition de la réaction de nitrification. Cette réaction nitrification a pu être obtenue suite à l'augmentation de l'âge des boues, permettant le développement des bactéries nitrifiantes, qui présentent une vitesse de croissance lente.

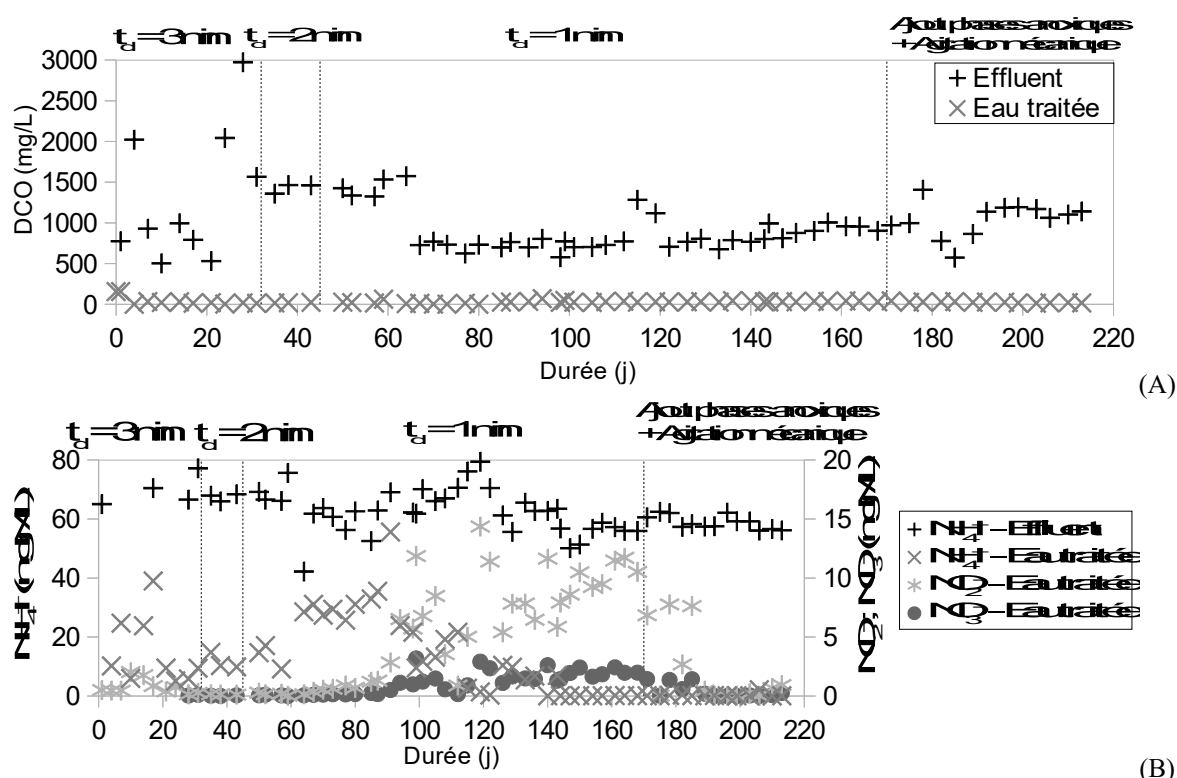


Figure 4. Évolution des concentrations en DCO (A), ammonium, nitrites et nitrates (B) dans l'effluent et l'eau traitée

#### 4. CONCLUSIONS

La granulation totale des boues a été obtenue grâce à la réduction de la charge massique à une valeur inférieure à  $1,5 \text{ kgDCO.kgMVS}^{-1}.\text{j}^{-1}$  et montre l'importance de ce paramètre sur la formation de boues granulaires aérobies. La maîtrise de l'âge des boues permet d'obtenir la réaction de nitrification, transformant l'ammonium en nitrate. Grâce à l'ajout des étapes anoxiques, la réaction de dénitrification permet un traitement complet de l'azote. Mais, l'ajout d'une agitation mécanique, permettant l'homogénéisation du réacteur en anoxie, a un effet négatif sur les AGS puisqu'elle a certainement provoqué la destruction des granules par un cisaillement trop important. Par ailleurs, ce procédé a permis le traitement de la DCO avec une valeur résiduelle inférieure à  $70 \text{ mg/L}$  pour une charge massique comprise entre  $0,4$  et  $3,4 \text{ kgDCO.kgMVS}^{-1}.\text{j}^{-1}$ .

#### RÉFÉRENCES

- [1] Liu Y. & Tay JH., State of the art of biogranulation technology for wastewater treatment, *Biotechnology Advances*, vol. 22, no.7, 2004, p.533-563.
- [2] Wilén B-M., Liébana R., Persson F., Modin O. & Hermansson M., The mechanisms of granulation of activated sludge in wastewater treatment, its optimization, and impact on effluent quality, *Applied Microbiology and Biotechnology*, vol. 102, no. 12, p. 5005-5020.