

PREDICTION ET MODELISATION DU COEFFICIENT ($K_L a$) PAR RESPIROMETRIE DANS UN BIOREACTEUR A BOUES ACTIVEES

M.A. EL Aissaoui El Meliani, A. Debab, A. Benhamou

Laboratoire d'Ingénierie des Procédés et de l'Environnement, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed Boudiaf USTOMB, BP 1505, El M'naouer, 31000 Oran Algérie.

Email of corresponding author: mohamedelamine.elaissaoui@univ-usto.dz

Received: 15 August 2018

Accepted: 20 December 2018

Abstract

To evaluate if biological treatment should be chosen while adapting to the bacterial circumstance and in order to better understand the impact of activated sludge (TSS) characteristics on oxygen transfer, a hydrodynamic follow-up and material transfer of oxygen in an aerated basin of a sewage treatment plant. An experimental device consisting of a fine-bubble column of 0.0846 m³ fed with continuously activated sludge was used. The oxygen transfer coefficient $K_L a$ was measured in the bubble column. A decrease in the volume transfer coefficient of material with the increase in the concentration of MES to more than 1341 mg TSS / L was found. This makes it possible by comparing our experimental and modeling results with the various correlations cited in the literature to determine the material transfer coefficient $K_L a$. This approach will be a new way of investigating crop conditions that improve the aeration performance in biological purification processes.

Keywords: Dissolved Oxygen , $K_L a$, Modeling, Total Suspended Solids, Specific Oxygen Uptake Rate (SOUR).

Résumé

Afin d'évaluer si le traitement biologique doit être choisis tout en s'adaptant à la circonstance bactérienne et dans l'objectif de mieux comprendre l'impact des caractéristiques des boues activées (MES) sur le transfert d'oxygène, un suivie hydrodynamique et de transfert de matière de l'oxygène dans un bassin d'aération d'une station d'épuration est réalisé. Un dispositif expérimental, constitué d'une colonne à fines bulles de 0,0846 m³ alimentée par des boues activées en continu a été mis en œuvre. Le coefficient de transfert d'oxygène $K_L a$ a été mesuré dans la colonne à bulles. Une diminution du coefficient volumique de transfert de matière avec l'augmentation de la concentration en MES à plus de 1341 mg MES/L fut constaté. Ceci permet en confrontant nos résultats expérimentaux et de modélisation avec les différentes corrélations citées dans la littérature de déterminer le coefficient de transfert de matière $K_L a$. Cette approche constituera une nouvelle voie d'investigation dans les conditions de cultures en améliorant les performances d'aération dans les procédés d'épuration biologique.

Mots clés : Oxygène dissous, $K_L a$, Modélisation, Matières en Suspensions, Taux d'absorption d'oxygène spécifique (SOUR).

INTRODUCTION

Les principes de conception des processus de croissance en suspension peuvent être largement séparés en deux catégories : ceux basés sur l'expérience et ceux basés sur la biochimie et la dynamique des populations microbienne. Les étangs d'oxydation facultatifs appartiennent à la première catégorie et les systèmes de traitement en suspension restants, à la deuxième catégorie. Bien que l'aération des eaux usées ait débuté en Angleterre dès 1882^[1], des avancées majeures dans la technologie de l'aération attendaient le développement du procédé à boues activées [1]. La production

biologique, de produits chimiques, de médicaments, de protéines et le traitement des eaux usées ne sont pas possibles sans un bioréacteur qui fonctionne correctement. Les bioréacteurs doivent répondre à plusieurs exigences fondamentales et créer des conditions favorables à la matière biologique de sorte que la production souhaitée soit optimisée. Les exigences de base peuvent inclure des dommages minimes à la matière biologique, une utilisation maximale du volume des bioréacteurs, un transfert maximal de masse gaz-liquide ou un transfert de masse maximum du liquide aux espèces biologiques [1]. Bien que le transfert de masse gaz-liquide soit souvent le processus de réaction limitant, les espèces biologiques peuvent avoir des limites supplémentaires. Par exemple, les espèces biologiques peuvent être très sensibles au cisaillement, tandis que d'autres peuvent ne pas bien se développer dans les conditions d'écoulement laminaire, mais elles se développent dans des conditions très turbulentes [1]. Les scientifiques ont cherché une aération plus efficace en développant des bulles plus fines. En général, les diffuseurs poreux sont les plus préoccupants, mais on peut trouver des exemples de colmatage des tuyaux perforés [1]. Il est clair que la nécessité de protéger l'eau est son traitement, que ce soit pour produire une eau propre à la consommation humaine ou à des usages spécifiques industriels, ou pour limiter les rejets de pollution dans le milieu naturel.

Afin d'optimiser et d'obtenir une meilleure qualité de traitement nous avons opté au suivi de la cinétique de dégradation des polluants organiques par les microorganismes ainsi que la production de biomasse tout en intervenant sur l'apport d'air constamment introduit dans le bioréacteur. Cela nous permettra de mettre en évidence l'impact qu'aurait l'aération sur la production de la biomasse et par conséquent sur l'épuration biologique des eaux.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Caractéristiques du dispositif expérimental

Un bassin de dimensions 40x45x47 cm rempli de 54 litres d'eau usée est mis en place pour le suivi de l'aération. Un rotamètre à glace LZB10, un thermomètre vertical pour chaudière (ISO 9001) et un filtre à air sont exploités. Le recyclage des boues est assuré par une pompe de recirculation TAIFU (GRS12/9-Z) (ISO 9001) et les débits des fluides entrant et sortant du bassin sont contrôlés en continu.

Mesure du coefficient de transfert d'oxygène

Le coefficient volumique de transfert d'oxygène en eau ($K_L a$) a été mesuré en présence de boues activées [2]. Les performances d'aération ont été déterminées par la méthode du bilan gazeux [3] avec des conditions d'insufflation de gaz maintenue à 20°C, 101325 Pa et un débit de 1000 L/h. Un thermomètre SEA STAR HX-906 a été aussi placé à l'intérieur du bassin pour mesurer la température de l'eau usée et s'assurer de sa constance.

Analyses physico-chimiques

La concentration de l'oxygène dissous, OUR, SOUR et température sont mesuré à l'aide d'un Oxymètre étanche avec baromètre intégré, port USB (HI 98193) muni de programme (HI 92000). Les matières en suspension sont analysées selon la méthode de la NF EN 872 (juin 2005). Le pH a été estimé à l'aide d'un pH/ORP/ température Bench mètre Hanna (HI 221-02). La DCO a été mesurée à l'aide d'un module de commandes, un réacteur DCO à 6 postes, tubes à réaction et tubes réfrigérants, une cuve de refroidissement un portoir tube à réaction, un portoir tube à réfrigérants, selon la NF T90-101(février 2001).

Caractérisation par modélisation

Un modèle global, issu de l'analyse dimensionnelle, est proposé pour la prédiction du coefficient de transfert (min^{-1}) en fonction du nombre adimensionnel dans le réacteur, et du débit d'air :

$$K_L a_{20} = \left[\frac{A \cdot q_0^B}{O_2^C} \right]^D \quad (1)$$

RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

En maintenant la température à 20°C et un potentiel d'hydrogène entre 5,8 et 8,5 [4] nous avons suivie l'évolution des microorganismes épuratoires pour un total de 11 essais à l'aide des TSS et l'implication de l'oxygène dissous dans leurs prolifération (Figure 1). Les résultats ont donné un taux de croissance (μ_m) de 0,17 h⁻¹ supérieur à la valeur extrême faible ($\mu_m = 0,2 \text{ h}^{-1}$) [5]. D'autre part, les résultats liés à l'aération montrent en premier lieu une décroissance du taux d'absorption d'oxygène (OUR) durant les 52 premières minutes due à l'étape de ré-oxygénation, le système n'est pas à l'état stable.

La vitesse de variation de la concentration d'oxygène dissous est donnée par la relation (2).

$$\frac{dC_{AL}}{dt} = K_L a \cdot (C^* - C) - SOUR \cdot X \quad (2)$$

Nous pouvons déterminer une expression pour ($SOUR \cdot X$) en considérant la concentration finale d'oxygène dissous C ; Quand $C = C^*$; $dC / dt = 0$ car il n'y a pas de changement de C avec le temps.

En second lieu, la Figure 2, montre une baisse de la DBO₅ et du taux d'absorption d'oxygène spécifique (SOUR). L'augmentation de la DCO est due à une forte activité biologique. Lors de la respiration aérobie, la biomasse hétérotrophe présente utilise le substrat carboné (correspondant aux polluants organiques [6].

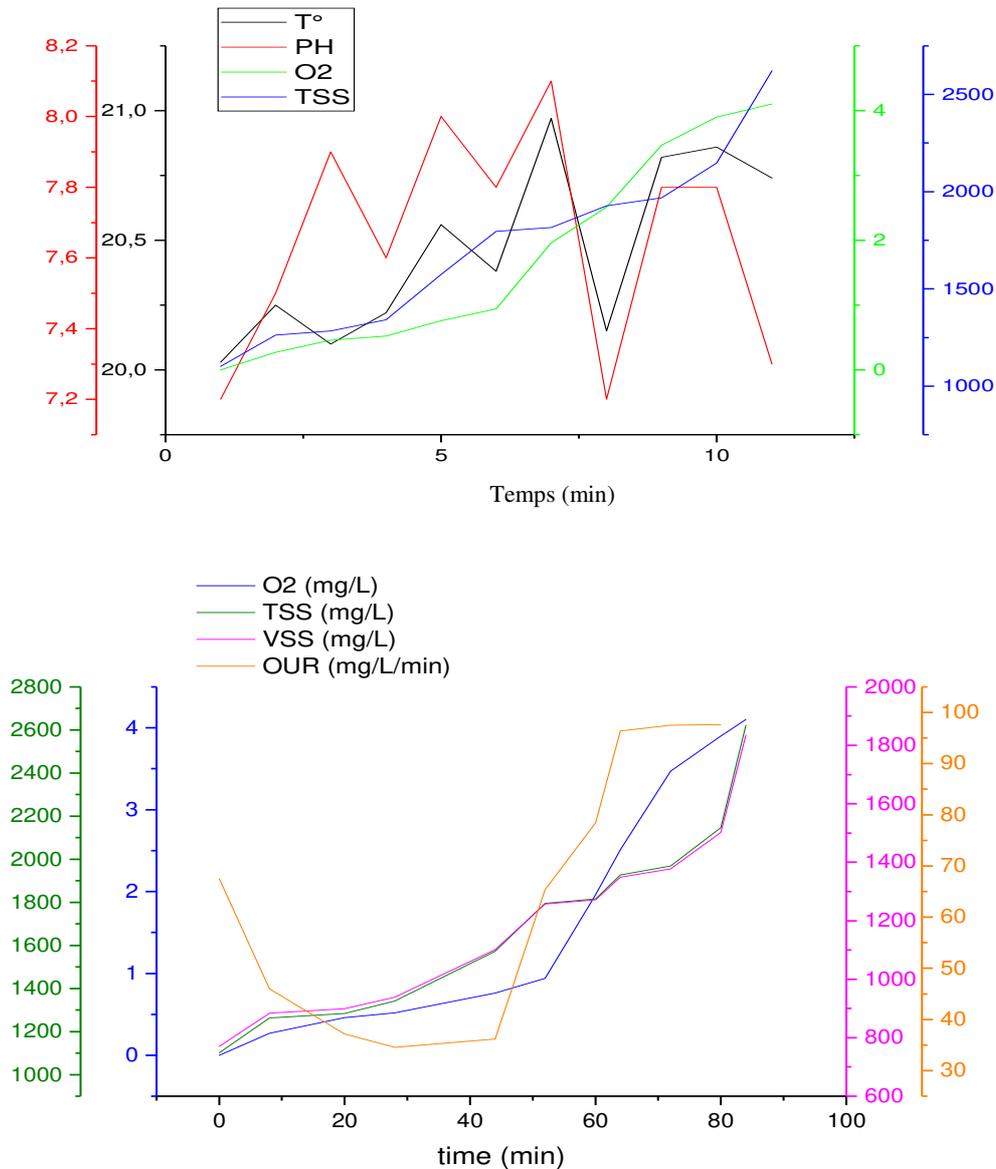


Figure 01 : Evolution des caractéristiques physico-chimiques des boues activées avec le temps.

Une partie de ce substrat organique est oxydée pour donner de l'énergie et le reste sert à la génération de nouvelles cellules [6]. Lorsque la matière organique biodégradable est consommée par une biomasse aérobie, l'oxygène est consommé par les microorganismes, et il est utilisé pour leur respiration endogène (auto-oxydation des constituants cellulaires), pour leurs besoins énergétiques, et pour la synthèse de nouvelles cellules [7].

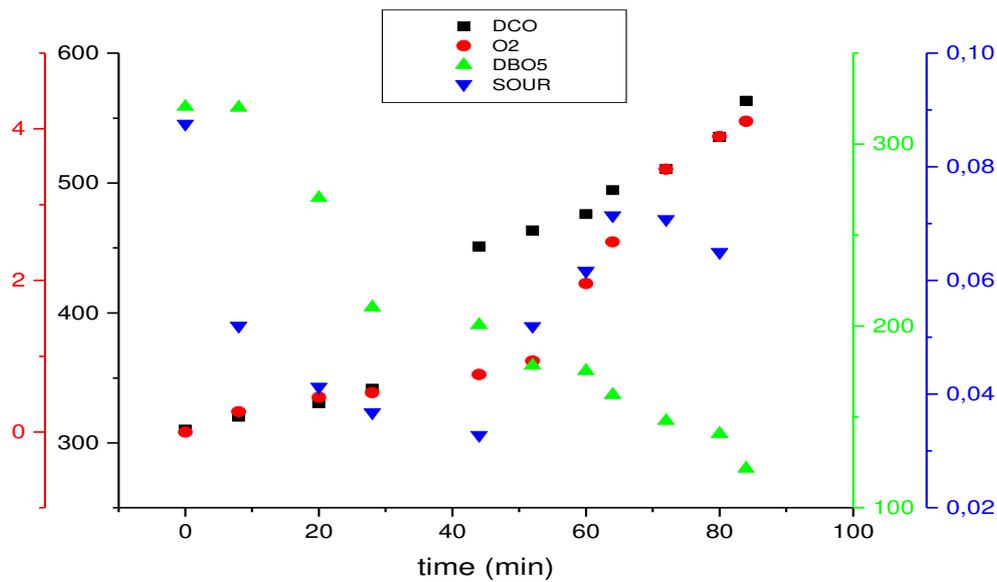


Figure 2: Influence de l'aération prolongée sur les indicateurs de pollution.

Afin d'améliorer les capacités de prédiction des coefficients de transfert d'oxygène, des corrélations empiriques basées sur des paramètres et des propriétés physiques clés ont été proposées. Pour les boues activées, ces corrélations prennent en compte, par exemple, l'effet couplé de l'âge des boues avec le débit d'air surfacique [8], ou avec le temps de passage des bulles d'air dans la phase liquide [9] ou encore avec les MVS [9]. Bien que ces corrélations aient permis de préciser l'influence de ces paramètres, elles ne prennent pas en compte le comportement des cellules vivantes des liqueurs mixtes. Par conséquent, la concentration en MES sur l'hydrodynamique n'est pas directement considérée dans ces corrélations.

Ainsi, à partir des résultats expérimentaux sur des boues et leur lien avec la concentration en MES, un modèle empirique corrélant transfert, hydrodynamique dans la colonne à bulles et utilisant le formalisme couramment employé pour des fluides modèles a été développé [10]. Le coefficient volumique de transfert d'oxygène s'écrit alors :

$$K_L a_{20} = \left[\frac{0,15 \cdot q_0^{0,99}}{O_2^{0,03}} \right]^{0,98} \quad (3)$$

Ce modèle est valide pour des concentrations d'oxygène entre 2,5 et 3,5 mg/L (Figure 3), et SOUR entre 0,056 et 0,033 min⁻¹ pour un $K_L a$ optimal de 0,0069 min⁻¹ (Figure 4). Les constantes A, B, C et D de l'équation (1) ont donc été déterminées en minimisant la somme des carrés des écarts entre les résultats des calculs précédents et les résultats expérimentaux donnant $K_L a$ [11].

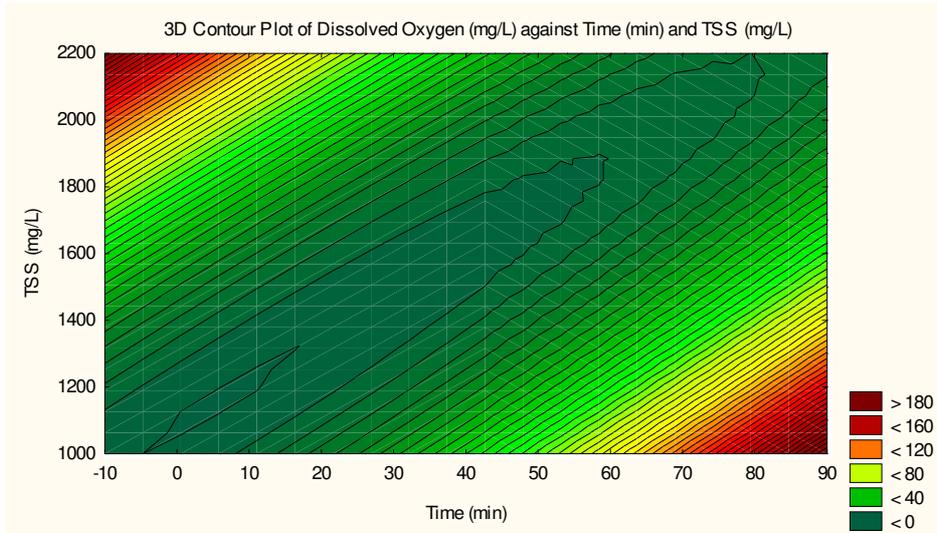


Figure 03 : Variation de la concentration de l'oxygène dissous.

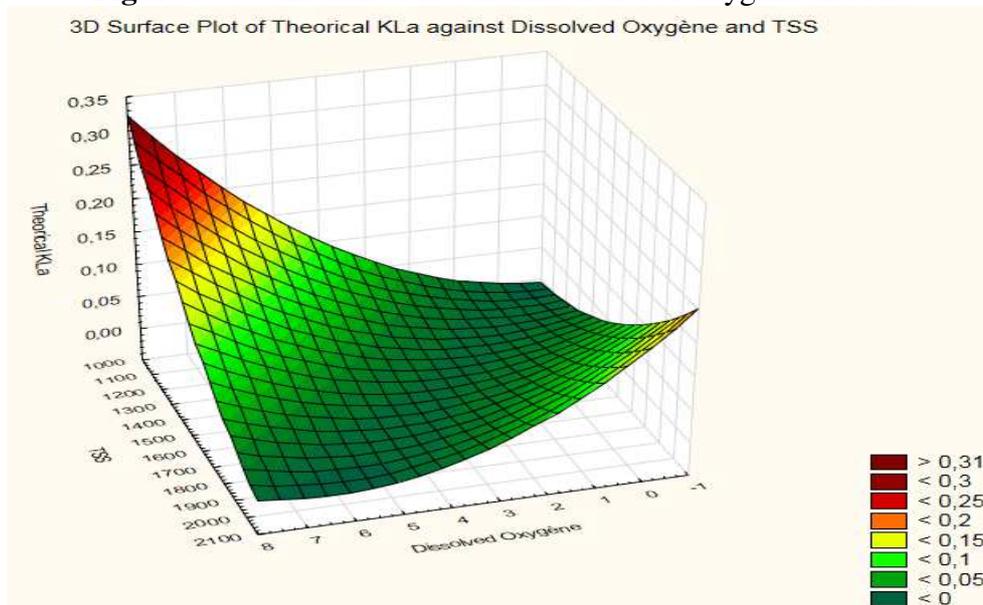


Figure 04 : Variation du coefficient de transfert d'oxygène.

CONCLUSION

La corrélation proposée permet de représenter l'augmentation du K_La avec le taux d'absorption d'oxygène spécifique (SOUR). Une augmentation d'autant moins marquée que la concentration en boues est grande. L'impact de la concentration en (SOUR) et MES sur l'effet du coefficient de transfert d'oxygène a déjà été observée dans la littérature par plusieurs auteurs mais aucune explication mécanistique n'avait jusqu'alors été proposée pour expliquer cette tendance.

RÉFÉRENCES

- [1] D. Hendricks-2011. Fundamentals of Water Treatment Unit Processes Physical, Chemical, and Biological. CRC Press Taylor & Francis Group and IWA publisher. USA.
- [2] NF-EN-12255-15- 2004. Wastewater treatment plants - Part 15 : Measurements of the oxygen transfer in clean water in aeration tanks of activated sludge plants.
- [3] J. A. Mueller, P.E, William C. Boyle, P.E, H. Johannes Pöpel- 2002. Aeration: Principles and Practice. Volume 1. Crc Press. USA.
- [4] M. H. Gerardi-2002. Nitrification And Denitrification In The Activated Sludge Process. John Wiley and Sons. USA.
- [5] A. C. van Haandel, J G M van der Lubbe-2012. Handbook of biological wastewater treatment design and optimisation of activated sludge systems. IWA Publishing. USA.
- [6] P. M. Doran- 2013. Bioprocess Engineering Principles, Second Edition. Elsevier.
- [7] M. V. Sperling-2007. Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactors, Biological Wastewater Treatment Series. VOLUME FIVE. IWA Publishing. Brazil, 2007.
- [8] D. Rosso, S.E. Lothman, M.K. Jeung, P. Pitt, W.J. Gellner, A.L. Stone et D. Howard- 2011. Oxygen transfer and uptake, nutrient removal, and energy footprint of parallel full-scale IFAS and activated sludge processes. Water Research 45(18), pp. 5987-5996.
- [9] C. Duran, Y. Fayolle, Yoan Pechaud, A. Cockx, S. Gillot-2013. Impact of activated sludge properties on rheological behavior and oxygen transfer in aerated bioreactors. Article. Toulouse. France.
- [10] Y. Fayolle, P. Moretti, J.P. Canler, S. Gillot-2014. Modelling of oxygen transfer in clean water in a moving-bed biofilm reactor using dimensional analysis. Article. France.
- [11] J. Makinia-2010. Mathematical Modelling and Computer Simulation of Activated Sludge Systems. IWA Publishing. USA.