Développement du procédé SETEIA : application de la méthodologie Boite Noire à la start-up

Rémi Soret[1], Paul-Etienne Fontaine[1], Jean-Rémi Loup[1], Pierre Chagvardieff[2]

Affiliation 1 : Azuvia, Avignon, France.

Affiliation 2 : PSC Agroscience, Meyrargues, France.

Introduction

Les problématiques liés à l'eau deviennent de plus en plus fréquentes et importantes sur notre planète, et revêtent différentes formes (surconsommation, gestion, pollution) (UNESCO, 2019; European Comission, 2020; Jiang *et al.*, 2020). Afin d'endiguer ce phénomène, de nombreuses start-ups se sont développées ces dernières années en se basant sur des technologies biologiques. La société Azuvia a développé le procédé SETEIA, un procédé biologique de traitement de l'eau innovant qui offre de nombreux avantages face à ses équivalents physico-chimiques (faibles coûts, résistance-résilience, performances élevées…) (Soret *et al.*, 2018) et les technologies biologiques concurrentes telles que les jardins filtrants (réduction de l'emprise au sol, ajout de procédés d'intensification, maitrise opératoire grâce à son aspect hors-sol). Néanmoins, le développement de telles technologies se heurte fréquemment à un obstacle majeur pour une jeune société : le coût et la difficulté excessive d'analyser en profondeur les phénomènes microscopiques intervenant au sein du procédé et permettant sa compréhension fine ainsi que son optimisation. La méthodologie dite de la « Boite Noire » a été développée de longue date et permet notamment de s'affranchir de ces difficultés afin d'obtenir une compréhension assez fine du procédé pour atteindre son industrialisation. L'objectif de ce projet est de détailler les étapes du développement du procédé SETEIA ainsi que les résultats obtenus, mais aussi de démontrer la validité et l'intérêt pour une start-up de l'utilisation de la méthodologie Boite Noire pour le développement de sa technologie.

Matériel et méthodes

La méthodologie de la boite noire considère le procédé étudié comme une boite noire dont l'intérieur (les phénomènes microscopiques transformant la matière) n'est pas visible. L'utilisateur (macroscopique) observe depuis l'extérieur d'où seul l'entrée du procédé, sa sortie et les paramètres opératoires sont visibles. La méthode consiste à fixer tous les paramètres opératoires, effectuer une variation définie sur un seul des paramètres et observer sa conséquence sur la sortie. L'analyse de la variation de la sortie permet de déterminer l'influence du paramètre opératoire sur le système et de caractériser un des phénomènes microscopiques internes. La méthode doit être répétée sur l'ensemble des paramètres opératoire afin d'obtenir une compréhension fine du procédé. Le montage expérimental de taille semi-industrielle représentait un demi-module SETEIA. Il était constitué d'une cuve de réception accueillant un volume d'effluent journalier à traiter de 250L et d'une partie filtration biologique constituée de trois étages de filtration composés chacun de trois gouttières hydroponiques (Agrilogic, Laval, France) de dimensions (longueur x largeur x hauteur) 2 x 0,16 x 0,14 m, agencé de façon à être superposés et consécutifs. Le matériel biologique était disposé dans les gouttières et prenait la forme d'un garnissage composé de billes d'argile, support de la communauté bactérienne, et de plantes épuratoires. Le pilote fonctionnait en cycle fermé pour une durée de traitement de 24h. Les mesures ont été réalisées à l'aide de test Nanocolor et du photomètre PF-12plus (Macherey-Nagel, Hœrdt, France). L'effluent quotidien a été réalisé à partir de lixiviat de compostage. L'étude a porté sur trois aspects : la phase de start-up du procédé, l'état stationnaire et l'influence de paramètres opératoires (ratio de garnissage, configuration, oxygénation, charge en polluant et saisonnalité).

Résultats et discussion

Lors de la phase de start-up du procédé, les concentrations en NH4-N en entrée du procédé ont graduellement été augmentées de $C_{initiale}$ = 35 à 148 mg $_{NH4-N}$ .L^{-1} sur une période de 350h puis fixées à 148 mg $_{NH4-N}$ .L^{-1} pendant 400h.

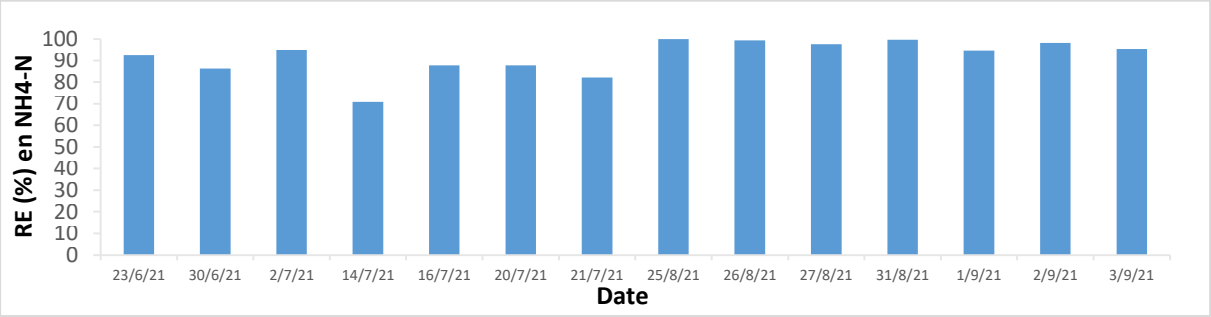

Figure 1 : Efficacité d'abattement RE (%) en NH4-N en état stationnaire sur une période de 72 jours.

Consécutivement, les charges dépollués journalières ont graduellement augmenté jusqu'à se stabiliser autour des 35 g_{NH4-N} .j^{-1} pour un RE_{NH4-N} (%) = 90 % ce qui est cohérent avec l'adaptation de la communauté microbienne à la charge en substrat apportée (Loi de Monod) et l'atteinte d'un état stationnaire. Lors de l'étude de l'état stationnaire, la concentration en entrée concentration moyenne était de 219,3 ± 54 mg .L^{-1} et la concentration en sortie moyenne de 21,0 ± 22,7 mg .L^{-1}. Les RE_{NH4-N} (%) en état stationnaire ont été suivies sur une période de 72 jours et étaient de RE_{NH4-N} (%) = 91,9 ± 8,2 % (Figure 1). Les résultats montrent l'efficacité et la stabilité de la dépollution sur effluent industriel réel, et le faible écart-type (8,2%) montre la résilience et résistance du procédé face aux variations d'entrées. Ce suivi a donc pu servir de référence sur laquelle baser l'étude des paramètres opératoires. Lors de l'étude du ratio de garnissage (ratio = $V_{garnissage}$ / $V_{effluent}$) , un ratio de 2,1 a été fixé puis l'échelle du pilote a été augmenté de l'échelle laboratoire (30L) à l'échelle pilote (130 L) puis l'échelle semi-industrielle (250L). Un RE_{NH4-N} (%) = 97,8 ± 2,7 % a été conservé lors de l'augmentation des échelles, indiquant que conserver un ratio de garnissage de 2,1 est adéquat pour le scale-up du procédé. L'influence de la configuration a été étudié en comparant deux pilotes disposant de gouttières de 2 m à un pilote disposant de gouttières de 4 m afin de conserver un volume de traitement équivalent. La configuration 2 m a montré un RE_{NH4-N} (%) = 97 ± 3,1 % et une charge dépolluée de 44 ± 4,7 g .j^{-1}, et la configuration 4 m un RE_{NH4-N} (%) = 91,9 ± 8,2 % pour une charge de 36,7 ± 6,8 g .j^{-1}, ce qui a permis de sélectionner la configuration 2 m pour le procédé SETEIA final. L'étude de l'influence de l'oxygénation a permis de mieux comprendre sa répartition dans le procédé, tandis que l'étude de l'augmentation de la charge a permis de fixer C_{NH4-N} = 400 mg .L^{-1} comme limite actuelle du projet avec un RE_{NH4-N} = 82 %. Enfin, l'étude de la saisonnalité a montré l'influence de la température et des paramètres environnementaux avec un RE_{NH4-N} (%) = 92 ± 8 % et une température T° = 31 ± 3,7 °C en été et un RE_{NH4-N} (%) = 68 ± 8,3 % et une température T° = 14,8 ± 3,4 °C en automne. Ce point nécessitera d'être étudié plus en profondeur dans le futur.

Conclusion

Les résultats obtenus ont permis à la fois de concevoir et de démontrer l'efficacité du procédé SETEIA. La méthodologie de la boite noire a révélé des informations de compréhension, de caractérisation et de dimensionnement précieuses qui ont permis à Azuvia de finaliser le procédé SETEIA industriel et de le commercialiser début 2022.

Références bibliographiques :

European Comission (2020) 'A new Circular Economy Action Plan For a cleaner and more competitive Europe', *European Commission*, pp. 233–249. doi: 10.7312/columbia/9780231167352.003.0015.

Jiang, L. *et al.* (2020) 'The effects of water stress on croplands in the Aral Sea basin', *Journal of Cleaner Production*, 254, p. 120114. doi: 10.1016/j.jclepro.2020.120114.

Soret, R. *et al.* (2018) 'Investigation of Removal Capacities of Biofilters for Airborne Viable Micro-Organisms', *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(3), p. 551.

UNESCO (2019) *The United Nations World Water Development Report 2019: Leaving no one behind.*, *UNESCO Digital Library*. doi: .1037//0033-2909.I26.1.78.