

Les bioréacteurs à membrane pour le traitement des effluents urbains

Les enjeux

Le concept de l'utilisation conjointe des membranes et des boues activées a vu le jour à la fin des années soixante. La technique a beaucoup évolué avec la nature des membranes utilisées et son application s'est fortement développée depuis une dizaine d'années. En remplaçant le clarificateur secondaire des boues activées classiques par une membrane de microfiltration/ultrafiltration, il est possible d'augmenter fortement la concentration de la boue ce qui conduit à des réacteurs plus petits et donc à une emprise au sol plus faible. Les bioréacteurs à membrane (BAM) permettent, avec un faible temps de séjour hydraulique, d'obtenir une eau épurée de très haute qualité, exempte de matières en suspension, de bactéries pathogènes, voire de virus.

Les BAM, utilisés en premier lieu pour traiter des effluents industriels, ont pu être appliqués aux effluents urbains dès lors que sont développées des techniques à membranes organiques immergées dans la boue, moins consommatrices d'énergie. Ces techniques sont très largement dominantes aujourd'hui, elles ont connu un important développement avec un taux de croissance de 10% par an en Europe dans les dix dernières années. Les BAM sont désormais utilisés pour des agglomérations allant de quelques centaines d'EH à plus de 200 000 EH.

On peut désormais considérer que les procédés BAM ont atteint un premier seuil de maturité et que leurs méthodes de dimensionnement se stabilisent.

Les BAM présentent une série d'avantages :

- rétention complète des MES permettant de s'affranchir des problèmes de décantabilité des boues et d'imposer des âges de boue élevés favorables au développement de biomasses à croissance lente (nitrifiantes),



Bioréacteur à membrane de Guéthary

- fonctionnement avec des concentrations de boue élevées (MES = 6 - 12 g/L) conduisant à la réduction de la taille des bassins d'aération d'un facteur 2 à 4,
- installations compactes avec faible emprise au sol,
- élimination des germes pathogènes,
- réduction des contraintes d'exploitation et fiabilisation des performances.

Cependant, les contraintes de cette technique restent importantes et limitent encore son domaine d'application. Parmi les points importants on peut mentionner :

- un débit journalier traitable limité au débit maximum de filtration ce qui exige une réduction drastique des eaux parasites dans le réseau et demande le plus souvent la présence d'un bassin tampon pour écrêter les pointes,
- une dépense énergétique supérieure à celle des systèmes conventionnels, la maîtrise du colmatage des membranes est en effet obtenue par injection de grosses bulles à un débit de 0,4 à 0,75 Nm³/h.m²_{surface membrane}),

- une concentration de boue élevée pénalisant le transfert d'oxygène pour les fines bulles de l'air process,
- la nécessité de lavages périodiques des membranes à l'eau de javel ou à l'acide pour le maintien des capacités de filtration au cours du temps (lavages de maintenance et de régénération),
- un coût encore élevé des membranes et une durée de vie estimée à 7-10 ans (variable suivant la qualité des prétraitements et les conditions de fonctionnement).

En France, cette technique est proposée de plus en plus souvent par les constructeurs et le nombre d'installations se multiplie. L'utilisation des bioréacteurs à membranes se limite généralement à des cas bien spécifiques (milieu récepteur très sensible, nécessité de désinfection, faible surface disponible, opportunité de réutilisation des eaux traitées, ...). Néanmoins la baisse régulière du coût des membranes, la recherche de fiabilité des traitements en zones très sensibles, la possibilité d'augmenter les capacités de traitement de stations existantes sans ouvrage supplémentaire et le souhait de recourir de plus en plus fréquemment à des systèmes compacts laissent présager la poursuite d'un accroissement régulier du nombre d'installations dans les prochaines années.

Des conditions de fonctionnement particulières

Les bioréacteurs à membrane, utilisant des boues concentrées, fonctionnent dans des conditions différentes de celles rencontrées dans les boues activées conventionnelles. Du fait notamment de la sous-charge fréquente des stations d'épuration récentes, les âges de boue élevés sont très fréquents dans les BAM. La rétention de toute la fraction particulaire et colloïdale des effluents, et les conditions hydrodynamiques confèrent aussi à la boue des BAM des caractéristiques particulières. Le colmatage des membranes se répartit entre deux fractions, l'une réversible, éliminée par retrolavage ou relaxation et l'autre irréversible bouchant les pores. Cette dernière fraction

qui réduit progressivement la perméabilité des membranes est attribuée principalement aux polymères extracellulaires accumulés dans le surnageant des boues. Le colmatage irréversible est éliminé une à deux fois par an par un lavage de régénération.

Deux techniques principales de filtration sont utilisées pour le traitement des eaux usées urbaines: dans l'une, les membranes sont constituées de fibres creuses en réseaux denses nécessitant de très fréquents retrolavages (toutes les 10-12 minutes) avec de l'eau traitée (15 à 20% du volume filtré), dans l'autre ce sont des membranes à plaques disposées en batterie où la relaxation (période d'aération sans filtration) est suffisante pour éviter le colmatage réversible. Les flux moyens sont de l'ordre de 20 L/(m².h).



Module de fibres creuses



Module de membranes planes

Quelle expérience en France en sites réels ?

Ces dernières années, 4 installations (de 7 000 EH à 26 000 EH) équipées de fibres creuses ou de plaques ont fait l'objet de suivis approfondis sur le long terme par le Cemagref. Un bilan de ces suivis a permis de dresser un état de l'art de la technique des bioréacteurs et de son application en France pour le traitement des eaux usées urbaines, et d'initier un travail de modélisation dynamique du procédé BAM. Un modèle biologique de type ASM1 a pu être calé sur deux installations réelles et des recherches sont en cours pour aboutir à un modèle global intégrant la production des substances colmatantes dominantes (produits microbiens solubles) et le fonctionnement de la filtration.

De l'expérience acquise, il ressort que cette technique entre tout à fait en concurrence avec des solutions « boues activées conventionnelles + traitement tertiaire », et ce, avec une plus grande compacité. Plusieurs points apparaissent déterminants dans le fonctionnement :

- la qualité du tamisage, garante de la fiabilité du fonctionnement du procédé et de la pérennité des membranes,
- une concentration de boue établissant un bon compromis entre charge massique, production de boue et transfert d'oxygène (une concentration élevée réduit la charge volumique donc l'emprise au sol mais réduit aussi le transfert d'oxygène) et
- une bonne technicité des exploitants.



Bioréacteur à membrane de Le Bono

Les concentrations en boues initialement préconisées ont été progressivement diminuées ces dernières années afin de réduire les coûts énergétiques. Les plages optimales de fonctionnement dépendent entre autres du type de membrane utilisé et des objectifs de traitement visés. La production de boue biologique demeure proche de celle de systèmes conventionnels fonctionnant avec des âges de boue identiques (environ 0,35 kg MES/kg DCO_{éliminée}).

Outre l'évaluation globale des procédés bioréacteurs à membranes, le Cemagref a aussi été engagé ces dernières années dans le projet REEBIM (ANR Precodd) dont l'objectif est de proposer des filières délivrant une haute qualité d'eau traitée compatible avec différents types de réutilisation. Ces traitements tertiaires d'affinage utilisent des techniques membranaires (ultrafiltration, nanofiltration, osmose inverse). Les résultats de la modélisation biologique dynamique y ont été utilisés pour déterminer les conditions optimales de conduite d'un BAM précédant un affinage tertiaire, notamment pour limiter les risques de colmatage des membranes secondaires et tertiaires.



Bioréacteur à membrane de Grasse Roumigières

Contacts scientifiques (<http://cemadoc.cemagref.fr>)

Alain Husson – alain.husson@cemagref.fr

Yvan Racault – yvan.racault@cemagref.fr

Anne-Emmanuelle Stricker – anne-emmanuelle.stricker@cemagref.fr

UR Réseau Epuration et Qualité des Eaux
Cemagref 50, avenue de Verdun BP3, F-33612 CESTAS Cedex

