

## Évaluation, optimisation et modélisation de filières de traitement : cas du procédé à cultures fixées fluidisées (MBBR)

**Le procédé à cultures fixées fluidisées (MBBR) est une nouvelle technologie proposée depuis quelques années par plusieurs constructeurs pour l'épuration des polluants carbonés et azotés. Cet article nous présente les résultats des travaux d'évaluation et de modélisation menés par les équipes d'Irstea afin d'améliorer la conception, le dimensionnement et l'exploitation de cette filière en fort développement.**

### Le procédé MBBR

Le procédé MBBR (*Moving Bed Biofilm Reactor*) a été mis au point par des équipes norvégiennes (Université et Société Anox-Kaldnès) dès le début des années 1990, en s'inspirant des avantages des cultures fixées, mais aussi de l'utilisation de supports synthétiques de faible densité qui présentent l'avantage de consommer moins d'énergie pour leur brassage. Cette technologie a rapidement été commercialisée à l'étranger. En France, les premières installations datent de 2006 et ont été construites par Vinci Environnement sur les bases de dimensionnement de la société Anox-Kaldnès. Depuis, deux autres constructeurs proposent cette technologie en France : Veolia et Degrémont. À ce jour, on dénombre en France plus d'une vingtaine d'installations équipées de ce procédé. Ces installations sont de taille très différentes allant de 6 500 à 120 000 EH (équivalents-habitants) et permettent de traiter le carbone et l'azote par voie biologique ; le phosphore étant traité uniquement par voie chimique.

Le principe du procédé est basé sur le traitement biologique de type culture fixée. La biomasse est fixée sur un support maintenu en suspension par fluidisation. Selon le traitement recherché, la filière peut être composée de plusieurs réacteurs en série avec une biomasse spécifique à chaque réacteur puisque le support ne transite pas d'un ouvrage à un autre. La culture fixée permet de maintenir des âges de boue plus élevés que le temps de séjour hydraulique de l'ouvrage compte tenu de l'absence de recirculation des boues en tête de réacteur.

Au cours du traitement, la biomasse excédentaire se décroche du matériau et est piégée dans l'unité de séparation physique biomasse/effluent traité située à l'aval

(clarificateur, flottateur ou tamisage) ainsi que le particulaire biodégradable non assimilé apporté par l'effluent.

La bonne fluidisation du matériau est nécessaire au traitement. Elle est fonction de différents facteurs : type de support, taux de remplissage, débit d'air injecté ou vitesse d'agitation mécanique pour les réacteurs dénitrifiants.

### De nombreux types de supports sont disponibles

Sur le marché, de nombreux supports aux caractéristiques spécifiques existent. Chaque support développé par un constructeur a son propre domaine d'application : type de traitement recherché et taux de remplissage maximal. Ils sont caractérisés par des surfaces spécifiques exprimées en  $m^2$  de surface utile/ $m^3$  de matériau en vrac ou ordonné. Les supports les plus connus en termes de performances sont les supports développés par Anox-Kaldnès. Pour les supports conçus plus récemment, des études sont actuellement menées pour affiner les règles de dimensionnement.

La figure 1 présente deux supports utilisés sur le procédé MBBR en eau usée domestique, Biochip-M et BMX1, développant chacun une surface spécifique de  $1\,200\,m^2/m^3$ , ceci parmi les différentes autres formes possibles (cône tronqué, cube, cylindre dont les surfaces spécifiques balayent la gamme  $200$  à  $1\,700\,m^2/m^3$ ). Les supports retenus doivent disposer d'une surface réellement disponible à l'activité biologique importante, d'une bonne résistance mécanique pour les réacteurs agités mécaniquement et d'une facilité à la fluidisation (densité entre  $0,95$  à  $1,05\,kg/m^3$ ). Ils doivent également favoriser l'adhésion du biofilm, avec une bonne circulation de l'eau à proximité de celui-ci pour la diffusion des polluants en son sein.



1 Réacteur du pilote étudié par Irstea entre juin 2010 et juin 2012 (procédé R3F, Vinci).

© J.-M. Perret

## Principales configurations envisageables et domaines d'application

Le procédé MBBR peut répondre à différentes applications :

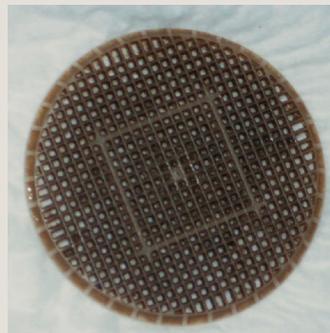
- cas de réhabilitation d'une station existante surchargée, avec deux possibilités de configuration : une implantation en tête de filière (amont d'une boue activée) avec un double objectif : maintien des ouvrages existants et diminution de la charge appliquée sur la boue activée, ou une mise en place du support à l'intérieur du réacteur biologique de la boue activée (appelé alors système hybride ou IFAS) ;
- cas de création d'une file complète équipée de cette technologie, ce qui signifie la mise en place de plusieurs réacteurs en série en fonction du type de traitement recherché et de plusieurs files en parallèle pour les installations à charge variable, mais aussi pour respecter une taille de réacteur compatible avec une bonne fluidisation.

Cette technologie permet de traiter la pollution carbonée et azotée : nitrification et/ou dénitrification en pré ou post dénitrification en fonction des niveaux de rejets demandés. Le traitement du phosphore se fait par traitement chimique (ajout de sels métalliques), soit au niveau de l'étage primaire (lorsqu'il est présent), soit à l'amont immédiat du clarificateur.

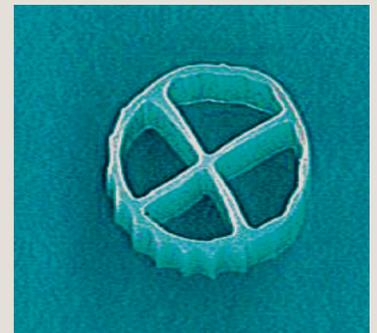
La filière de traitement (figure 2) est toujours composée d'une étape de prétraitement performante équipée d'un dégrillage dont la maille n'excède pas 3 mm et d'un desableur-deshuileur correctement dimensionné.

La mise en place d'un traitement primaire n'est pas obligatoire, mais son implantation est souvent justifiée pour mieux répondre soit à la problématique d'une variation

### 1 Exemple de matériau rencontré sur le procédé MBBR.

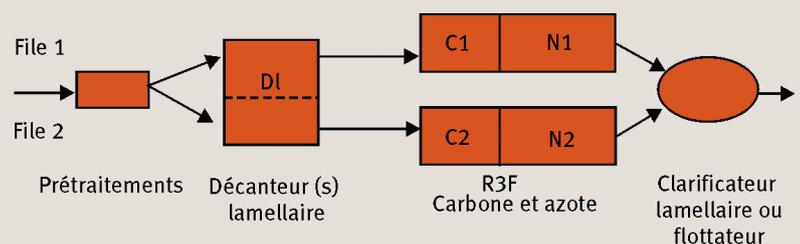


Plastique, disque percé ;  
diamètre intérieur : 4,5 cm  
Surface spécifique :  
1 200 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> (Biochip-M,  
Anox-Kaldness/Veolia)



Plastique, cylindre percé ;  
diamètre intérieur : 1 cm  
Surface spécifique :  
1 200 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> (BMX1, Vinci)

### 2 Schéma type d'une installation MBBR.



### 1 Lignes de dimensionnement des réacteurs selon les constructeurs.

Type de traitement	Charge surfacique retenue	Rendements escomptés
Étage de dénitrification	0,3 à 0,5 g de N-NO <sub>3</sub> - appliquée par m <sup>2</sup> de surface de support* par jour	De l'ordre de 80 %
Étage carboné	< 5 g de DBO <sub>5</sub> appliquée par m <sup>2</sup> de surface de support* par jour	De l'ordre de 80 à 95 %
Étage de nitrification	0,4 à 0,9 g de N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> appliquée par m <sup>2</sup> de surface de support* par jour	De l'ordre de 70 à 90 %
Étage de post-dénitrification (avec une source externe de carbone).	1,5 à 3 g de N-NO <sub>3</sub> - appliquée par m <sup>2</sup> de surface de support* par jour	De l'ordre de 95 %, fonction de la source carbonée

\* m<sup>2</sup> de surface de support dans l'étage de traitement.

### 2 Caractéristiques des installations étudiées.

Sites et Constructeur	Taille et date de mise en eau	Configuration
Saint-Sorlin-d'Arves (Savoie) – Vinci construction Agence de Lyon	17 000 EH et fin 2007	Station équipée de 2 files parallèles identiques à l'exception d'un seul dessableur-deshuilleur et d'un seul flottateur. Flottateur pour la clarification des eaux de sortie station.
Vars-Saint-Marcellin (Hautes-Alpes) – SOGEA Agence sud-est	22 000 EH et mi 2009	Station équipée d'une file unique pour les prétraitements et l'étage primaire, de 2 files parallèles identiques pour l'étage biologique et d'une seule file pour la clarification. Décantation lamellaire avec réactifs physicochimiques pour la clarification des eaux de sortie station.

▶ de charge, soit à la déphosphatation de type chimique, ou encore à un traitement spécifique des boues de type digestion.

À l'aval de l'étape biologique, la séparation de la biomasse produite de l'effluent traité peut se faire par décantation de type lamellaire (en raison de la compacité recherchée) ou par flottation. Dans les deux cas, compte tenu des très faibles concentrations en MES (matière en suspension) entrant dans l'ouvrage liées à l'absence de recirculation des boues (de l'ordre de 300 mg de MES/L et fonction de la présence ou non d'un traitement primaire), l'adjonction de flocculant s'avère être obligatoire.

Dans le cas d'une décantation classique ou lamellaire, des précautions devront être prises pour éviter la dénitrification « sauvage » dans l'ouvrage.

#### Grandes lignes de dimensionnement et taux de remplissage limites

Le paramètre clé de dimensionnement de ces réacteurs est la charge surfacique appliquée associée à son rendement ou la charge surfacique éliminée qui s'exprime en g de DBO<sub>5</sub>/m<sup>2</sup> de surface de support par jour pour la pollution carbonée, en g de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/m<sup>2</sup> de surface de support par jour pour le traitement de l'azote (nitrification) et en g de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/m<sup>2</sup> de surface de support par jour pour la dénitrification.

Les grandes lignes de dimensionnement annoncées par les constructeurs sont décrites dans le tableau 1.

À partir des flux à traiter, du rendement recherché et de la charge surfacique arrêtée, une surface de support sera nécessaire. Le volume de matériau sera obtenu suivant le type de support retenu. Le volume du réacteur biologique

sera ensuite arrêté à partir du taux de remplissage maximal fonction du type de support.

Les taux de remplissage maximaux sont de l'ordre de 60 à 65 % et fortement dépendant du type de support utilisé.

La fluidisation, indispensable pour un traitement optimal, se fait par l'intermédiaire des apports d'air dans le réacteur ou par agitation mécanique pour les réacteurs anoxiques.

On note des puissances installées d'agitation par l'intermédiaire des surpresseurs de l'ordre de 55 (fluidisation seule) à 170 watt par m<sup>3</sup> de réacteur et des vitesses d'air de l'ordre de 7 à 20 Nm/h selon le type de support et la configuration de l'ouvrage (surface, hauteur d'eau...).

#### Stations étudiées, configuration de la filière

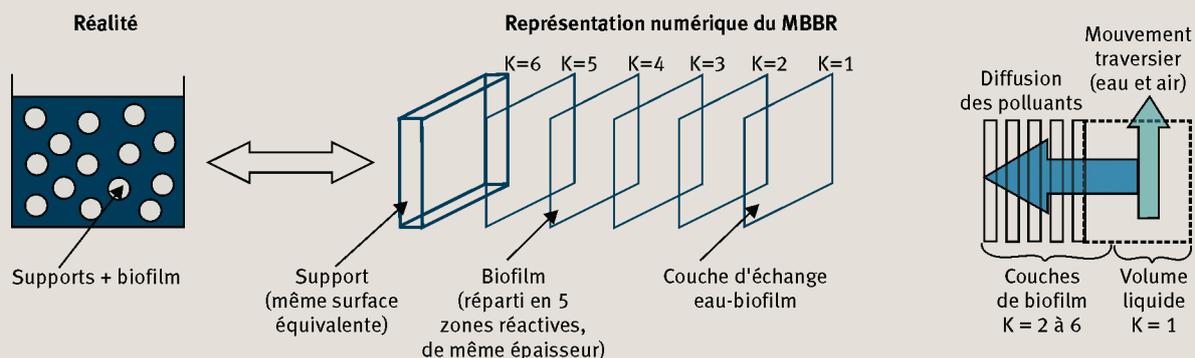
Les données présentées dans cet article sont issues d'études longues menées par l'équipe Epure d'Irstea Lyon, sur plusieurs sites réels et sur un pilote industriel. Les caractéristiques des installations réelles étudiées sont décrites dans le tableau 2.

Ces sites font partie des premières installations mise en eau en France, ce qui explique qu'ils concernent un même constructeur. Pour l'avenir, afin de compléter les connaissances acquises sur cette technologie (en particulier le type de support), et pour d'autres types de traitement (abattement de l'azote), d'autres sites seront étudiés.

#### Pilote industriel étudié

Parallèlement aux études et aux nombreux sites visités, un pilote semi-industriel (photo 1) a été installé sur la station d'épuration de Fontaines-sur-Saône (Rhône). Il était constitué de deux réacteurs PVC rectangulaires connectés en série (volumes respectifs 1,8 et 1,35 m<sup>3</sup>), alimentés

### 3 Représentation hydraulique et spatiale du procédé MBBR (Barry *et al.*, 2012).



en continu par 10 à 20 m<sup>3</sup>/jour d'eau usée domestique issue de l'étape de prétraitement de la station d'épuration. Les matériaux de garnissage étaient mis en fluidisation vingt-quatre heures sur vingt-quatre par un système d'aération à moyennes bulles.

Pour étudier de manière approfondie le fonctionnement du procédé et les processus impliqués sans pénaliser le milieu récepteur, nous avons modifié les paramètres de fonctionnement du procédé (vitesse eau, air, charges appliquées, etc.), et mené une analyse fine des processus (mesures de performance de fluidisation, d'épaisseur de biofilm, de vitesse de nitrification). Enfin, nous avons abouti à un calage et à la validation d'un modèle dynamique prédictif du procédé MBBR (en partenariat scientifique avec l'université Laval, Québec).

#### Modélisation dynamique de la filière MBBR

Très utilisée par les chercheurs et les ingénieurs pour les boues activées, la modélisation est un outil informatique permettant d'explorer différents scénarios de fonctionnement par ordinateur. Mais à ce jour, aucun outil

de ce type ne prédit de façon satisfaisante le comportement de l'azote au sein du procédé MBBR. Le travail en cours vise donc à élaborer un modèle dynamique (logiciel GPS-X, hydromantis software, Canada) incluant une description spatiale et hydraulique linéaire (1D) comprenant un transfert de matière au sein d'un réacteur complètement mélangé (figure 3) utilisant des caractéristiques physiques moyennes du matériau support (diamètre, densité) et un développement homogène du biofilm dans tout le réacteur. Y sont associés un modèle de biofilm constitué de six couches complètement mélangées au sein desquelles se déroulent les processus de diffusion des composés solubles, l'attachement et le détachement de composés particulaires, et un modèle biocinétique pour la conversion des polluants par voie biologique (type croissance/mortalité de biomasses et hydrolyse des substrats).

Aussi simplifiés qu'ils soient, les modèles 1D de biofilms appliqués au procédé MBBR sont difficiles à utiliser compte tenu du nombre important de paramètres qu'ils impliquent.

### 3 Type de support et volumes des réacteurs retenus pour l'étude.

Sites	Type de matériau et surface utile	Taux de remplissage	Volume total du réacteur biologique - charge volumique (Cv)	Proportion en volume de chaque réacteur	
				Réacteurs C (carbone)	Réacteurs N (azote)
Saint-Sorlin-d'Arves (17 000 EH)	Biochip-M 1 200 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> de matériau	51 % (à terme 60 %)	414 m <sup>3</sup> Cv = 0,91 kg de DBO <sub>5</sub> /m <sup>3</sup> de réacteur par jour	35 %	65 %
Vars (22 000 EH)		43 % pour l'étage C et 55 % pour l'étage N	1 018 m <sup>3</sup> Cv = 0,48 kg de DBO <sub>5</sub> /m <sup>3</sup> de réacteur par jour	28 %	72 %

### 4 Valeurs obtenues sur le premier réacteur.

Taux de remplissage avec du Biochip-M	Température dans le réacteur	Charge surfacique éliminée
51 % (Saint-Sorlin-d'Arves) 43 % (Vars)	12,5 °C	> 2,8 g de DBO <sub>5</sub> éliminée/m <sup>2</sup> de surface utile par jour (substrat limitant car 98 % de rendement)
Rappels des données du constructeur	8 °C	3,2 g de DBO <sub>5</sub> éliminée/m <sup>2</sup> de surface utile par jour
	13 °C	3,6 g de DBO <sub>5</sub> éliminée/m <sup>2</sup> de surface utile par jour

## ► Résultats obtenus

Toutes les données présentées dans cette partie sont issues des flux d'entrée sur l'étage biologique (entrée MBBR) après traitement primaire. Pour chaque type de traitement, ce flux est ramené au volume et à la surface de matériau mis en œuvre dans le réacteur concerné : étage C pour le traitement du carbone et étage N pour le traitement de l'azote. Nous ne tiendrons pas compte de la part assimilée sur le réacteur C pour le flux ammoniacal en entrée du réacteur N. Ce flux assimilé représente de l'ordre de 20 % d'abattement sur l'azote ou, pour plus de précisions, de l'ordre de 5 % de la  $DBO_5$  éliminée sur l'étage carbone.

Le type de support et les volumes des réacteurs retenus sont décrits dans le tableau 3.

Les premiers résultats acquis ont été obtenus sur des installations communales confrontées à de très basses températures. Les résultats sont présentés sur la part éliminée sur l'ensemble des réacteurs biologiques emplis de supports Biochip-M.

### Réacteurs biologiques

Les stations sont équipées d'un réacteur dimensionné pour traiter le carbone suivi d'un second réacteur dimensionné pour traiter azote. Les valeurs mesurées sont les suivantes.

#### Traitement du carbone

Sur le premier réacteur situé à l'amont de l'étage azote, les valeurs obtenues sont décrites dans le tableau 4.

À ce stade, on retiendra pour une température dans le réacteur de l'ordre de 12 °C (soit de l'ordre de 10 °C sur les eaux brutes d'entrée station), une charge éliminée de l'ordre de 3,0 g de  $DBO_5$  éliminée par  $m^2$  de surface utile de matériau par jour. À cette charge, la qualité des eaux de sortie pour la  $DBO_5$  filtrée est inférieure à 5 mg/L avec le respect de cette qualité pour 95 % du temps.

#### Traitement de l'azote : nitrification

Sur le second réacteur situé après l'étage carboné, les valeurs obtenues sont décrites dans le tableau 5.

À ce stade, on retiendra pour une température de l'ordre de 12 °C une charge éliminée de l'ordre de 0,32 g  $N-NH_4^+$  éliminée par  $m^2$  de surface de matériau par jour pour un rendement supérieur à 80 % associé à une teneur en  $N-NH_4^+$  en sortie inférieure à 15 mg/L. Il est possible que les charges éliminées soient sous-estimées car les

valeurs ont été obtenues en présence de substrats limitant (source ammoniacale et bicarbonates).

Les deux sites étudiés ne comportaient pas de réacteur pour la dénitrification.

### Autres points importants de la filière à intégrer

#### Partie clarification

La filière biologique est dimensionnée pour traiter le carbone et l'azote. Sur les installations étudiées, on note pour le traitement de l'azote, uniquement une transformation des composés azotés réduits en nitrates (nitrification seule recherchée), ce qui explique le choix des deux technologies retenues pour la séparation biomasse/effluent traité : la flottation et la décantation lamellaire en raison de temps de séjour plus courts (ce qui limite la dénitrification endogène) et l'ajout de réactifs pour le lestage des floccs.

L'utilisation d'une technologie plus classique type clarificateur secondaire aurait nécessité une dénitrification préalable sur le réacteur biologique, ce qui aurait augmenté l'emprise au sol de la filière. Le choix d'un clarificateur pour le procédé MBBR est également difficilement compatible avec la recherche d'une filière compacte, et son utilisation est aussi peu adaptée en raison des concentrations en MES faibles et des petits floccs formés difficilement décantables.

Actuellement, une étude Irstea sur la flottation est en cours (performances réelles envisageables sur ce type d'équipement associées aux paramètres de fonctionnement). On relève en général des concentrations de sortie inférieures à 30 mg de MES/L avec des doses de polymère se situant entre 2 et 4 g de polymère exprimé en matières sèches par  $m^3$  d'eau à traiter.

Au-delà de la conception même de l'ouvrage de flottation, les points importants sont :

- la conception du flocculateur,
- les conditions de transfert du floc vers le flottateur (pompage à éviter).

Ceci pour conserver une qualité de floc compatible à une bonne efficacité de séparation en flottation et éviter les surdosages de réactifs.

Une autre alternative prometteuse basée sur le tamisage des eaux de sortie du réacteur MBBR est en cours de développement (une installation en France à ce jour) et sera prochainement étudiée par Irstea.

#### 5 Valeurs obtenues sur le second réacteur.

Taux de remplissage avec du Biochip-M	Température dans le réacteur	Charge surfacique éliminée
51 % (Saint-Sorlin-d'Arves) 55 % (Vars)	12,5 °C 13 °C	De 0,2 à 0,35 g de $N-NH_4^+$ éliminée/ $m^2$ de surface utile par jour (avec un substrat limitant car 98 % de rendement pour la charge surfacique de 0,2)
Rappels des données du constructeur	8 °C	Entre 0,3 et 0,85 g de $N-NH_4^+$ éliminée/ $m^2$ de surface utile par jour



2 Matériau Biochip-M fluidisé dans leur réacteur.

© J.-M. Perret

### Oxygénation et fluidisation

Comme pour tous les procédés biologiques aérobies, le poste oxygénation est important car il influence fortement les consommations énergétiques de la station.

On observe que le dimensionnement des installations étudiées nécessite des puissances spécifiques de brassage de l'ordre de 150 watt/m<sup>3</sup> (mais pour des charges volumiques appliquées trois fois plus élevées qu'une boue activée en aération prolongée) et des vitesses d'air de l'ordre 20 Nm/h (ou Nm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.heure) avec du Biochip-M. Pour d'autres supports, des vitesses plus faibles (inférieures à 10 Nm/h) sont mesurées pour maintenir une fluidisation correcte du massif. Ainsi, un des critères de sélection du support devra être sa facilité à la fluidisation. À terme et plus particulièrement sur des stations sous-chargées, des travaux devront être menés afin d'optimiser au maximum ce poste pour réduire les consommations énergétiques de cette filière, en particulier par la gestion d'une aération alternée avec ou sans agitation.

### Production de boue

Les productions de boue obtenues sur ce type de réacteur se rapprochent d'une filière de type intensive comme la biofiltration (culture fixée) où les boues produites sont relativement organiques (taux de matières volatiles sèches proche ou inférieur à 75 %) révélant ainsi une très faible auto-oxydation de la biomasse en place.

Les boues produites au sein du réacteur biologique sont équivalentes à des réacteurs de culture fixée intensive et sont de l'ordre de 0,9 kg de MES/kg de DBO<sub>5</sub> éliminée. Sur l'ensemble de la station, les productions de boues sont importantes, proche de 1,45 kg de MES/kg de DBO<sub>5</sub> éliminée. Ceci s'explique par l'ajout de réactifs chimiques au niveau de l'étage primaire mais aussi au niveau de l'ouvrage de séparation physique en sortie du réacteur biologique. Compte tenu de la technologie et de sa configuration (étage primaire et secondaire), la production de boue sera supérieure à une filière boue activée en aération prolongée.

### Consommation énergétique

Les premiers résultats obtenus avec le support de type Biochip-M ont révélé des consommations spécifiques très importantes sur les deux stations étudiées (plus de 7 kWh/kg de DBO<sub>5</sub> éliminée), qui s'expliquent par des installations sous-chargées et peu optimisées (part énergétique élevée liée au chauffage des locaux et à la désodorisation des bâtiments). À partir d'hypothèses, on peut s'attendre, en fonctionnement nominal, à des consommations spécifiques de l'ordre de 3,5 kW/kg de DBO<sub>5</sub> éliminée. Cette valeur devra être vérifiée, mais dans tous les cas, elle sera supérieure à la consommation d'une filière boue activée d'équipements équivalents.

Cette consommation est fortement pénalisée lorsque la station est sous-chargée en raison d'un apport d'air minimum nécessaire à la fluidisation trop élevé pour le process. Là encore, des mesures doivent être prises en conception (par exemple, sur le nombre de surpresseur d'air, la mise en place d'une aération séquencée...). D'autres types de supports sont actuellement à l'étude afin de diminuer la part énergétique due à la fluidisation.

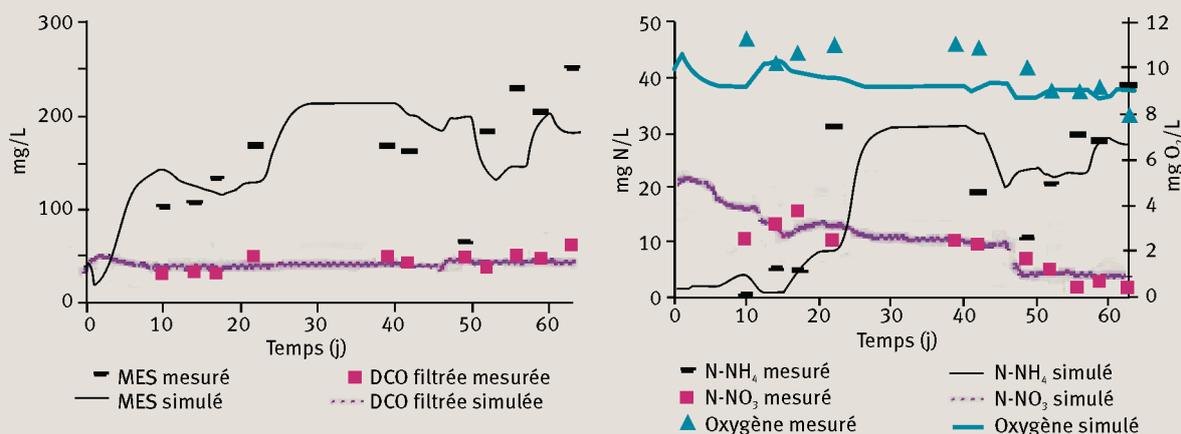
### Compacité

Sur le réacteur biologique, on note un gain sur la charge volumique d'un facteur proche de 3 par rapport à une boue activée faible charge. Sur l'ensemble de la station, l'emprise au sol du procédé MBBR permet un gain foncier de l'ordre de 30 %.

### Modélisation

La modélisation mathématique consiste à créer une représentation virtuelle d'un système grâce à la résolution par ordinateur d'équations décrivant son fonctionnement. Cette représentation se prête ensuite à l'étude et à des expérimentations (appelées simulations) tout comme le système réel, en présentant l'avantage de pouvoir multiplier les expériences avec un gain de temps, de moyens et d'efficacité par rapport

#### ④ Résultats mesurés et simulés pour le second réacteur du pilote de bioprocédé MBBR à cultures fixées sur lit mobile (Barry *et al.*, 2011).



► à l'expérimentation sur site. Cet outil s'est répandu dans tous les domaines scientifiques et techniques. Il est utilisé par les chercheurs, mais aussi par les acteurs opérationnels (gestionnaires, ingénieurs). En effet, en plus d'améliorer la compréhension des phénomènes en interprétant et prolongeant l'expérience, la modélisation est un outil de prévision, de test de scénarios et d'optimisation de procédés.

À ce jour, aucun outil de modélisation ne prédit de façon satisfaisante le comportement de l'azote au sein du procédé MBBR. Le travail en cours vise à élaborer un modèle dynamique incluant les processus de diffusion et de biodégradation de l'azote. Dans un premier temps, nous avons comparé comment les concentrations simulées dans l'eau traitée étaient éloignées ou non des concentrations mesurées, ceci sous différentes conditions de fonctionnement. Les résultats simulés et ceux mesurés sont représentés sur la figure ④, avec un échantillon moyen journalier analysé par semaine et un échantillon moyen simulé par jour. On observe que les prévisions du modèle reproduisent, dans une certaine mesure, les données expérimentales acquises sur l'eau traitée. On calcule une différence d'environ 50 mg/L en moyenne pour les MES, 2 et 7 mg N/L pour les nitrates et l'ammonium respectivement, 1 mg N/L pour l'oxygène. Notons tout de même la plus grande complexité du milieu réactionnel à simuler en raison de la présence de matières en suspension en quantité importante (300 à 500 mg/L), de matière organique, de biomasse issue du réacteur amont et d'une concentration en oxygène parfois limitante.

Le travail se poursuit actuellement et sera utilisé pour prédire les résultats que l'on obtiendrait dans différentes stratégies d'exploitation. Nous évaluons des modes de fonctionnement « fictifs », par exemple l'augmentation de la concentration en supports, l'alternance de bassin aérobie/anoxique, l'effet de surcharges hydrauliques... Cette approche permet d'évaluer la marge d'optimisation disponible, et conduit au choix de conditions optimales de fonctionnement du procédé. L'outil pourra progressivement être utilisé en soutien pour répondre à des questions d'appui technique, d'expertise ou d'évaluation du procédé MBBR.

### Conclusion

Le procédé MBBR s'avère être une technologie intéressante pour son créneau d'application (photo ③) : capacité et gestion des stations d'épuration confrontées à des fortes variations de charge. Son adaptabilité à faire face à des variations de charges est liée à la présence de plusieurs files qui permet l'alternance de fonctionnement des réacteurs et d'une biomasse de type cultures fixées.

Ses performances, comme toute filière de traitement, dépendent des charges réellement appliquées en fonction des rendements escomptés et de la température des eaux à traiter.

Le respect des niveaux de rejets de la loi sur l'eau (avec respect des valeurs moyennes journalières) et pour une température des eaux dans le réacteur biologique de 12 °C, nécessite des charges surfaciques à appliquer de l'ordre de 3 à 3,5 g de DBO<sub>5</sub> sur le réacteur carbone par m<sup>2</sup> de surface utile de matériau et par jour.

Dans le cas du traitement de l'azote et plus particulièrement pour l'étape nitrification, un rejet inférieur à 10 mg de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/L en moyenne journalière nécessite de retenir une charge surfacique de l'ordre de 0,4 g de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> appliqué sur le réacteur N/m<sup>2</sup> de surface utile et pour une température de 12 °C dans le réacteur biologique dédié au traitement de l'azote.

Ses performances sont obtenues en l'absence de facteurs limitants : TAC (titre alcalimétrique complet), oxygène, pH...

Les deux sites étudiés ne comportaient pas de réacteur pour la dénitrification.

À ce stade des connaissances sur ce procédé, on note une exploitation en terme de temps de suivi proche d'une filière boue activée.

Par contre, au niveau du poste « dépenses énergétiques », cette filière consomme près de 50 % de plus qu'une filière boue activée classique. Des pistes d'amélioration devront être étudiées pour l'avenir par les constructeurs et les centres de recherche. ■



Vue extérieure d'une station MBBR.

© J.-M. Perret (Iristea)

### Les auteurs

**Jean-Pierre CANLER, Jean-Marc PERRET  
et Jean-Marc CHOUBERT**

Iristea, centre de Lyon, UR MALY,  
Milieux aquatiques, écologie et pollutions,  
5 rue de la Doua, CS 70077, 69626 Villeurbanne Cedex

✉ [jean-pierre.canler@irstea.fr](mailto:jean-pierre.canler@irstea.fr)

✉ [jean-marc.perret@irstea.fr](mailto:jean-marc.perret@irstea.fr)

✉ [jean-marc.choubert@irstea.fr](mailto:jean-marc.choubert@irstea.fr)

### Remerciements

Ce travail est l'aboutissement de différentes études effectuées grâce au concours précieux des exploitants que nous tenons à remercier. Ces remerciements vont également aux maîtres d'ouvrage (SIVOMA, Communauté de communes du Guillestrois) pour nous avoir autorisés l'accès à leur installation et à tous ceux qui ont permis la réalisation de cette synthèse (Agence de l'eau Rhône-Méditerranée et Corse, l'équipe « Traitement des eaux usées » d'Iristea Lyon et son laboratoire d'analyses physico-chimiques des milieux aquatiques).

## QUELQUES RÉFÉRENCES CLÉS...

- 📄 **BARRY, U., CHOUBERT, J.-M., CANLER, J.-P., HÉDUIT, A., ROBIN, L., LESSARD, P., 2012,** A calibration protocol of a one-dimensional moving bed bioreactor (MBBR) dynamic model for nitrogen removal, *Water Science and Technology*, 65 (7), p. 1172-1178.
- 📄 **CANLER, J.-P., PERRET, J.-M., 2012,** *Les procédés MBBR pour le traitement des eaux usées. Cas du procédé R3 F,* Site FNDAE, Document technique numéro 38, Iristea et AERMC.
- 📄 **CHOUBERT, J.-M., PERRET, J.-M., CANLER, J.-P., 2010,** Traitement biologique de l'azote par les stations d'épuration confrontées à des fortes variations de charges en zones touristiques : Les résultats de six études pleine échelle portant sur trois procédés, *in : JIE 2010*, 29/30 septembre 2010.

► Consulter l'ensemble des références sur le site de la revue [www.set-revue.fr](http://www.set-revue.fr)