

Les réacteurs à lits fluidisés ou **MBBR** (Moving Bed Biofilm Reactor) en Provence-Alpes-Côte d'Azur



Un procédé compact adapté aux communes subissant de fortes variations saisonnières de population

ARPE
PROVENCE ALPES CÔTE D'AZUR
AGENCE RÉGIONALE POUR L'ENVIRONNEMENT

CE QUATRIÈME DOSSIER TECHNIQUE est consacré au traitement des effluents domestiques par RÉACTEURS à LITS FLUIDISÉS (MBBR). L'objectif de ce dossier est d'informer sur la filière pour contribuer à améliorer les connaissances sur ce procédé.

Il présente la filière et dresse un état des lieux de son développement sur le territoire régional. Tout au long du document, des recommandations pratiques de l'ARPE et issues des publications scientifiques et techniques sont présentées afin d'éviter les dysfonctionnements les plus souvent rencontrés.

Ce dossier s'appuie notamment sur des visites de sites et sur des échanges avec l'Irstea [Institut de recherche en science et technologie pour l'environnement et l'agriculture], un constructeur de stations d'épuration [GTM], un concepteur de médias [AnoxKaldnes™], des exploitants publics et privés et les services assainissement des Départements des Hautes-Alpes et des Alpes-Maritimes.

LES INFORMATIONS DIFFUSÉES DANS CE DOSSIER TECHNIQUE sont issues du suivi spécifique de cette filière effectué sur le territoire régional depuis 2011 par l'ARPE. Ce suivi est réalisé au sein de l'unité *assainissement et milieux aquatiques*, dans le cadre de la mission d'évaluation de techniques innovantes en matière d'assainissement.

PRÉSENTATION de la filière

Principe

Les déchets grossiers présents dans les eaux usées sont d'abord séparés par dégrillage et dessablage-déshuilage. Les effluents pénètrent ensuite dans un réacteur qui est composé de supports mis en suspension – appelés média ou biomédia – sur lesquels va se développer la biomasse épuratrice. Ces bactéries fixées forment un biofilm sur la surface utile protégée des médias. Ceux-ci sont maintenus dans le réacteur biologique à l'aide d'une grille de rétention qui laisse passer l'effluent vers l'étape de clarification.

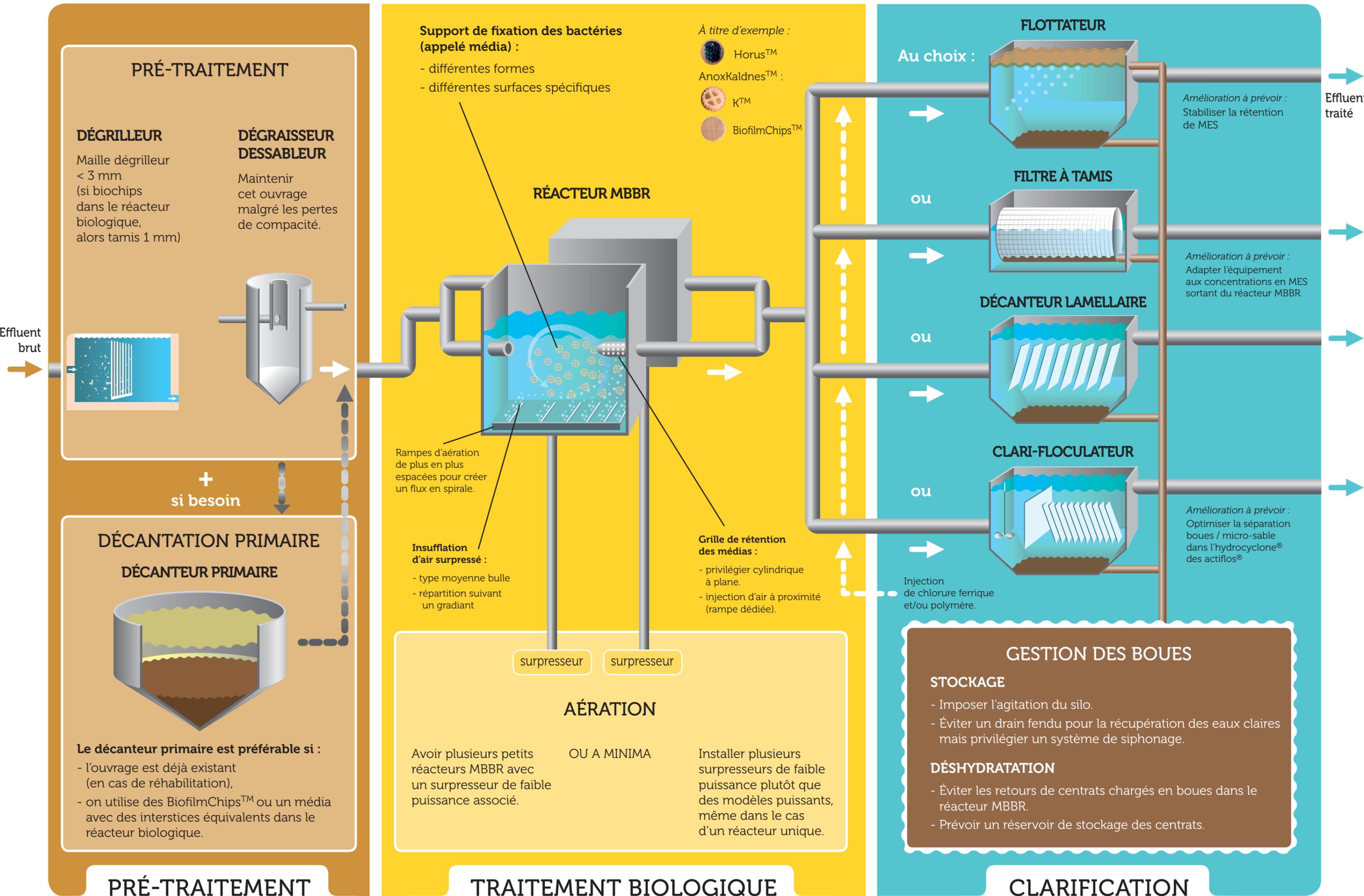
Pour favoriser le traitement des effluents, la mise en contact des bactéries et de la pollution est essentielle. Pour ce faire, l'ensemble des médias est mis en mouvement grâce à l'aération par moyenne bulle injectée par le fond des ouvrages.

Le décrochement du biofilm bactérien présent sur les médias est séparé de l'eau traitée avant rejet dans le milieu naturel.



Station enterrée

Préconisations pour une station à réacteur MBBR (Moving Bed Biofilm Reactor)



PRÉ-TRAITEMENT

DÉGRILLEUR

Maille dégrilleur < 3 mm (si biochips dans le réacteur biologique, alors tamis 1 mm)

DÉGRAISSEUR DESSABLEUR

Maintenir cet ouvrage malgré les pertes de compacité.

Effluent brut

+ si besoin

DÉCANTATION PRIMAIRE

DÉCANTEUR PRIMAIRE

Le décanteur primaire est préférable si :

- l'ouvrage est déjà existant (en cas de réhabilitation),
- on utilise des BiofilmChips™ ou un média avec des interstices équivalents dans le réacteur biologique.

PRÉ-TRAITEMENT

Support de fixation des bactéries (appelé média) :

- différentes formes
- différentes surfaces spécifiques

À titre d'exemple :

- Horus™
- AnoxKaldnes™
- K™
- BiofilmChips™

RÉACTEUR MBBR

Rampes d'aération de plus en plus espacées pour créer un flux en spirale.

Insufflation d'air surpressé :

- type moyenne bulle
- répartition suivant un gradient

Grille de rétention des médias :

- privilégier cylindrique à plane.
- injection d'air à proximité (rampe dédiée).

surpresseur

surpresseur

AÉRATION

Avoir plusieurs petits réacteurs MBBR avec un surpresseur de faible puissance associé.

OU A MINIMA

Installer plusieurs surpresseurs de faible puissance plutôt que des modèles puissants, même dans le cas d'un réacteur unique.

TRAITEMENT BIOLOGIQUE

Au choix :

FLOTTATEUR

Amélioration à prévoir : Stabiliser la rétention de MES

ou

FILTRE À TAMIS

Amélioration à prévoir : Adapter l'équipement aux concentrations en MES sortant du réacteur MBBR

ou

DÉCANTEUR LAMELLAIRE

Amélioration à prévoir : Optimiser la séparation boues / micro-sable dans l'hydrocyclone® des actiflos®

ou

CLARI-FLOCULATEUR

Amélioration à prévoir : Optimiser la séparation boues / micro-sable dans l'hydrocyclone® des actiflos®

Injection de chlorure ferrique et/ou polymère.

GESTION DES BOUES

STOCKAGE

- Imposer l'agitation du silo.
- Éviter un drain fendu pour la récupération des eaux claires mais privilégier un système de siphonage.

DÉSHYDRATATION

- Éviter les retours de centrats chargés en boues dans le réacteur MBBR.
- Prévoir un réservoir de stockage des centrats.

CLARIFICATION

Effluent traité

Variantes possibles :

Le principe du réacteur MBBR peut être adapté pour répondre à des besoins spécifiques :

- En cas de nécessité de traiter complètement l'azote, la mise en œuvre de réacteurs anoxiques (sans oxygène libre) est possible [voir zoom sur le traitement de l'azote ci-après] ; dans ce cas, le brassage des médias est mécanique.
- Pour le traitement d'effluents non domestiques fortement chargés, des réacteurs fonctionnant en condition anaérobie (absence totale d'oxygène) peuvent être installés ; dans ce cas également, le brassage des médias est mécanique.
- Pour le traitement d'effluents biodégradables fortement concentrés, il est possible d'ajouter un réacteur MBBR en amont d'un bassin d'aération classique. Le réacteur MBBR est alors utilisé comme pré-traitement biologique (ex : station de Morières-Lès-Avignon). Cette configuration peut être utilisée pour accroître la capacité de traitement d'une station existante, à condition que les contraintes liées à l'hydraulique soient respectées.
- Le procédé hybride appelé IFAS (Integrated Fixed-film Activated Sludge) consiste à combiner un traitement avec des bactéries fixées sur les biomédias et des bactéries libres présentes dans le milieu liquide grâce à la recirculation d'une partie des boues récupérées dans l'étape de clarification. Ce procédé peut également servir à accroître la capacité de traitement d'une station existante, à condition que les contraintes liées à l'hydraulique, à la rétention et à la mise en mouvement des médias soient respectées.

POUR ALLER PLUS LOIN...

Dimensionnement

Il est admis qu'un dimensionnement compris entre 4 et 10 gDBO₅/m²/j, permet de garantir une concentration dans l'effluent traité inférieure à 25 mgDBO₅/l durant 95 % du temps.

	Charge surfacique appliquée
Traitement du carbone sécurisé	5 gDBO ₅ /m ² de surface utile de biomédia/j

Le dimensionnement est différent si le procédé MBBR est placé en amont d'une boue activée en réhabilitation ou si l'ammoniaque et le nitrate doivent être traités. Dans ces deux cas, nous conseillons de respecter les valeurs guides du FNDAE n°38. Pour le traitement de l'ammoniaque, un dimensionnement inférieur à 5 gDBO₅/m²/j dans le réacteur carbone est propice au bon développement des bactéries nitrifiantes.

Zoom sur le traitement de l'azote et du phosphore

> TRAITEMENT DE L'AZOTE AMMONIACAL

Un réacteur spécifique doit être dédié au traitement de l'ammoniaque. Des médias spécifiques sont particulièrement adaptés aux développements de bactéries permettant la transformation de l'ammoniaque en nitrate grâce à une surface utile importante. En contrepartie, ces médias peuvent se colmater facilement en cas de charge organique excessive.

Le réacteur dédié à la nitrification doit donc être placé à l'aval d'un réacteur correctement dimensionné pour traiter le carbone. Les bactéries dites "nitrifiantes" se développant assez lentement, il faut anticiper les fortes et rapides variations de charge saisonnières en ajoutant de l'ammoniaque sous forme d'alcali, avant même que la charge supplémentaire saisonnière ne soit présente. Ceci demande un suivi précis des paramètres de la station et une bonne maîtrise des réactions chimiques et biologiques par l'exploitant qui doit être formé en conséquence.

> TRAITEMENT DU NITRATE (AZOTE OXYDÉ)

L'étape qui consiste à éliminer le nitrate formé suite au traitement de l'azote ammoniacal s'appelle "dénitrification". Si la réglementation impose ce traitement, la mise en œuvre d'un réacteur spécifique est, là aussi, nécessaire. Ce réacteur doit fonctionner en anoxie (sans oxygène libre) et doit être brassé mécaniquement.

Plusieurs configurations sont alors possibles. Le réacteur anoxique peut être placé :

- soit en amont des réacteurs traitant successivement le carbone et l'ammoniaque : une recirculation de l'effluent sortant des réacteurs est alors nécessaire pour renvoyer les nitrates formés vers le réacteur dénitrifiant,
- soit à l'aval des réacteurs "carbone" et "ammoniaque" : cette configuration nécessite l'injection de carbone sous forme de réactif dans le réacteur dénitrifiant. En effet, les bactéries dénitrifiantes ont besoin de carbone qu'elles ne trouveraient pas en quantité suffisante à cette étape du traitement,

> Pour télécharger une synthèse sur le procédé MBBR réalisée par l'Irstea :
Revue de l'Irstea "Sciences Eaux & territoires" : www.set-revue.fr > tous les numéros > n° 9 : "Recherche et ingénierie au service des acteurs de l'assainissement" > Évaluation, optimisation et modélisation des filières de traitement, cas du procédé à cultures fixées fluidisées (MBBR).

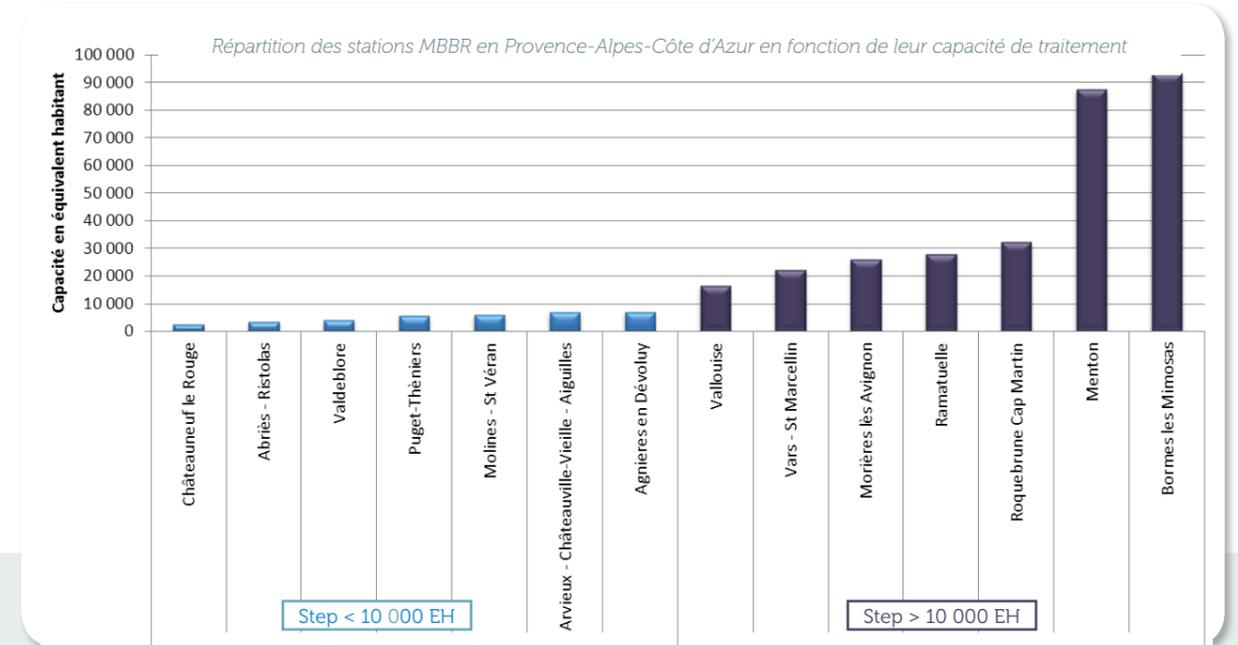
> Pour télécharger le FNDAE spécifique au procédé MBBR :
www.fndae.fr > les documents techniques > n° 38 : "Les procédés MBBR pour le traitement des eaux usées : cas du procédé R3F".

ÉTAT DES LIEUX DE LA FILIÈRE en Provence-Alpes-Côte d'Azur

Nombre de stations

En Provence-Alpes-Côte d'Azur, 14 stations sont équipées de réacteurs MBBR.

Pour Morières-Lès-Avignon, le réacteur MBBR est utilisé en pré-traitement, en amont d'une boue activée.



Remarque : Le procédé est adapté à des variations de charges organiques importantes. Ainsi, il est surtout présent sur les communes possédant des domaines skiables ainsi que sur le littoral.

■ soit en ajoutant un réacteur dénitrifiant en amont et un autre en aval. Cette combinaison permet d'être plus efficace que les deux autres car :

- l'apport d'oxygène par la recirculation dans le réacteur amont sera moindre : les conditions anoxiques nécessaires à la dénitrification seront atteintes plus efficacement,
- la dénitrification dans le réacteur aval n'aura pas besoin d'être aussi poussée, ce qui limitera d'autant les apports de réactif carboné.

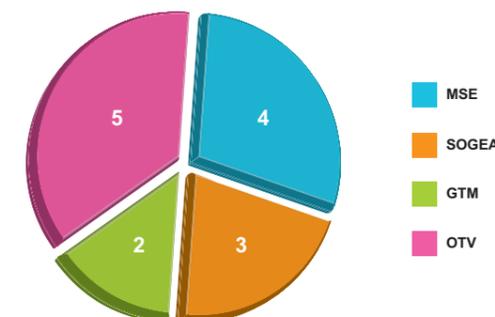
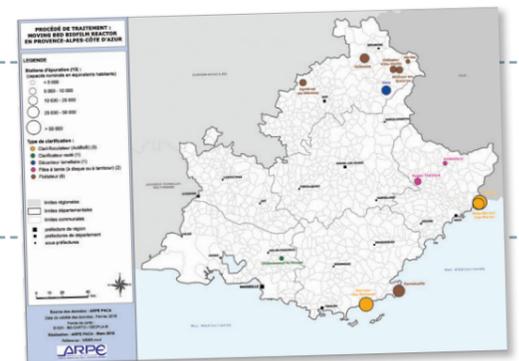
> TRAITEMENT DU PHOSPHORE

Le traitement du phosphore est possible mais celui-ci est réalisé par voie chimique, ainsi le réacteur MBBR n'intervient pas. Dans la plupart des cas, l'injection se fait en amont du système de clarification.

Remarque

En Provence-Alpes-Côte d'Azur, 2 stations équipées d'un procédé MBBR doivent respecter un niveau de rejet sur les paramètres ammoniacque et phosphore. Le nombre de données étant trop faible, nous n'avons donc pas réalisé une analyse sur ce point particulier.

- > Pour télécharger la carte localisant l'implantation des MBBR en région, rendez-vous sur le site de l'ARPE PACA : www.arpe-paca.org
- > domaines d'actions > assainissement et milieux aquatiques
- > évaluation de techniques innovantes > MBBR



Nombre de réalisations en Provence-Alpes-Côte d'Azur en fonction des constructeurs

Constructeurs

En Provence-Alpes-Côte d'Azur, les stations d'épuration équipées de réacteur MBBR ont été construites par 4 constructeurs : MSE, OTV, GTM et Sogea.

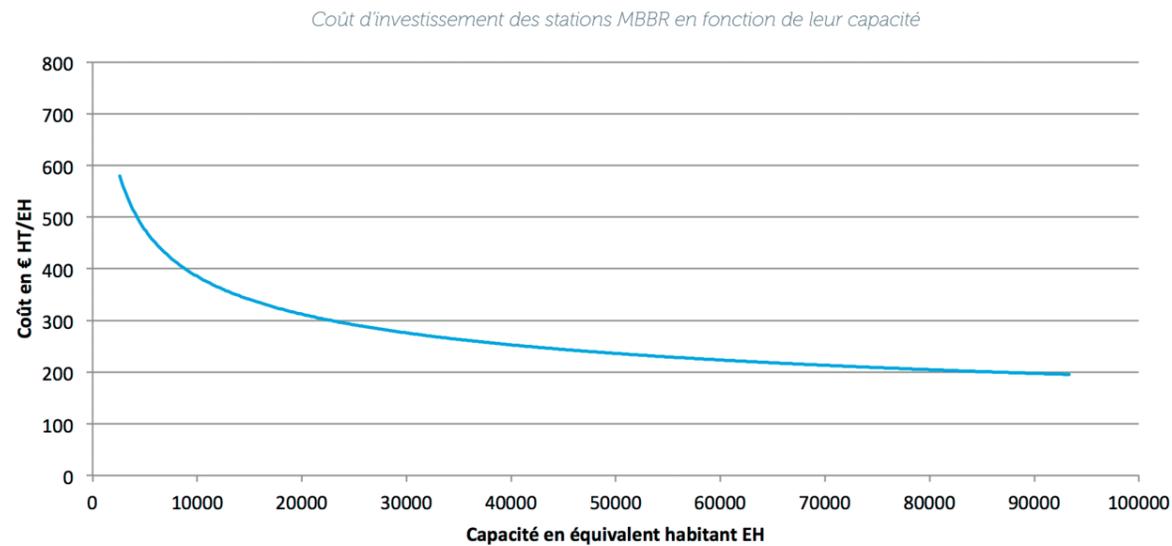
> Pour télécharger une thèse sur le comportement du procédé MBBR en nitrification : <https://pastel.archives-ouvertes.fr> > onglet "rechercher" [taper : MBBR] > "Comportement du procédé R3F en nitrification", Ugo Barry, 2011.

> Pour télécharger un guide sur l'apport d'alcali et le fichier excel pour son dosage : <http://gisbiostep.irstea.fr> > Publications du GIS > publications collectives > traitement biologique > "Augmentation de la quantité de biomasse autotrophe par ajout d'alcali", 2009.

Coût d'investissement des stations MBBR

La compacité des installations permet d'avoir un coût du foncier moins important que pour une boue activée. Cependant, par souci d'intégration ou pour se protéger des aléas climatiques, certaines installations sont enterrées. Ceci génère une augmentation significative du coût d'investissement. Par exemple, nous avons noté que pour deux stations de capacité épuratoire équivalente (autour de 30 000 EH), le coût passait de 268 € HT/EH pour une station non enterrée à 471 € HT/EH pour une installation enterrée.

À partir de 10 coûts représentatifs des conditions de construction de stations MBBR, nous avons dressé la courbe de tendance suivante exprimant le coût ramené à l'équivalent habitant en fonction de la capacité épuratoire mise en œuvre. Les coûts sont exprimés hors taxes et n'incluent pas les coûts de maîtrise d'œuvre ni ceux des études préalables.



Biomédias

Les biomédias sont les supports sur lesquels vont se fixer la biomasse épuratrice. Ces médias sont de différentes formes avec des surfaces spécifiques variables.



Quelques exemples de supports de fixation des bactéries :

Média AnoxKaldnes™ K5

Média AnoxKaldnes™ BiofilmChip™



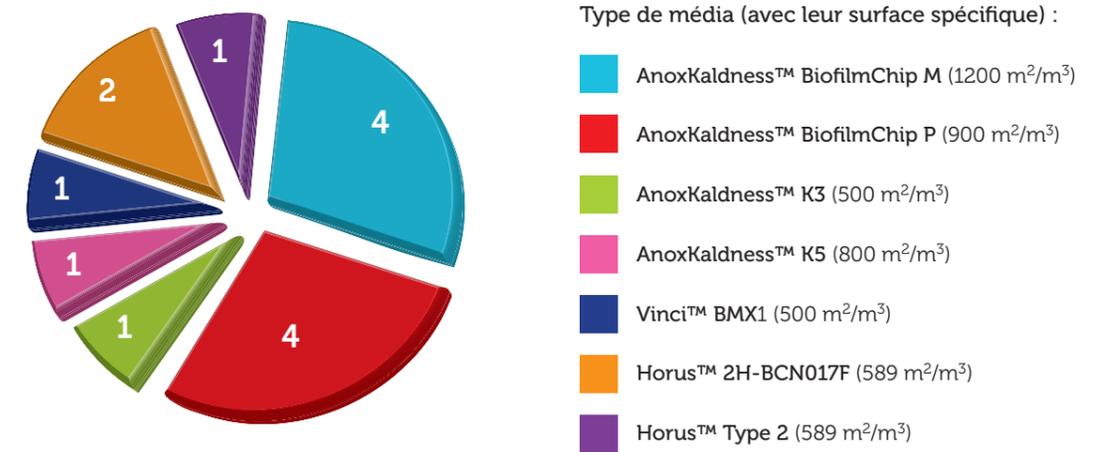
Média Horus™ Type 2

Média Horus™ 2H-BCN017F



En Provence-Alpes-Côte d'Azur, 7 types de biomédias équipent les différents réacteurs MBBR.

Répartition du nombre de stations en fonction des biomédias en Provence-Alpes-Côte d'Azur



La répartition des biomédias en région montre une utilisation majoritaire de BiofilmChip™. En effet, les supports BiofilmChip™ sont privilégiés par les constructeurs car leur surface spécifique importante permet de réduire la taille des bassins biologiques, ce qui réduit les frais de construction.

Toutefois, lorsqu'on compare les modalités de fonctionnement de ce support à d'autres dont la surface spécifique est moins importante, on s'aperçoit que le choix privilégiant les économies de construction n'est plus forcément pertinent lorsqu'on y intègre les contraintes et coûts d'exploitation [cf. zoom sur les médias d'AnoxKaldnes™].

En conséquence, il est important de mener également une réflexion portant sur le choix du média à mettre en place. Nous conseillons d'intégrer la pertinence du choix du média aux critères d'évaluation technique des offres.



Médias dans un réacteur MBBR

> MISE EN SUSPENSION DES MÉDIAS ET AÉRATION

Pour rappel, la mise en suspension des médias se fait par le biais de l'aération, c'est-à-dire par une injection d'air appliquée en fond d'ouvrage.

Cette injection se fait à partir de canalisations en inox percées produisant des bulles relativement grossières : on parle de diffusion "moyennes bulles". Ce système est adapté car moins sensible à l'abrasion par les médias que les diffuseurs "fines bulles" et ne nécessite pas de remplacement en dehors des casses.

POUR ALLER PLUS LOIN...

Points de vigilance liés à l'utilisation de biomédias

L'exemple des médias d'AnoxKaldnes™ : avantages du média K1 face au BiofilmChip™



Les BiofilmChip™ sont souvent privilégiés pour leur surface spécifique élevée (900 et 1200 m²/m³ ordonné pour les 2 modèles de BiofilmChip™ contre 500 m²/m³ ordonné pour le modèle K1) permettant une diminution importante des volumes de bassin. Toutefois, ce type de média demande une grande rigueur d'exploitation à cause d'interstices extrêmement petits présentant les plus forts risques de colmatage. Pour limiter ce risque, le fournisseur de ce type de support recommande d'ailleurs de ne les utiliser qu'à l'aval d'un décanteur primaire ou d'un tamis dont la maille n'excède pas 1 mm. Ces préconisations ne sont pas toujours respectées.

Pourtant, lorsque le site d'implantation de la station d'épuration permet la construction de bassins plus importants, le modèle K1 présente les avantages suivants :

- les interstices relativement importants se colmatent rarement,
- les moyennes bulles se cassent plus facilement en bulles plus petites au contact des supports. Ceci permet d'obtenir des meilleurs taux de transfert d'oxygène,
- la mise en mouvement est facilitée par de petites ailettes disposées en périphérie extérieure. À titre comparatif, les BiofilmChip™ ont besoin de plus d'énergie afin d'être mélangés efficacement,
- le brassage mécanique est compatible. D'ores et déjà, les réacteurs anoxique et anaérobie dans lesquels l'aération doit être limitée, peuvent être brassés par des agitateurs mécaniques plutôt que par injection d'air, lorsqu'ils sont garnis de médias K1. Il serait intéressant de pouvoir utiliser un brassage mécanique vraisemblablement moins gourmand en énergie, dans le cas d'un réacteur MBBR aérobie fonctionnant en syncopage (alternance de phases d'aération et d'arrêt où un brassage est nécessaire).

Quelques idées d'améliorations...

- Réfléchir à un système d'apport progressif en média pour suivre la montée en charge.
- En cas de maintenance, de panne ou même en basse saison pour les stations à forte variation de charge, une récupération et un stockage des médias pourraient être envisagés.

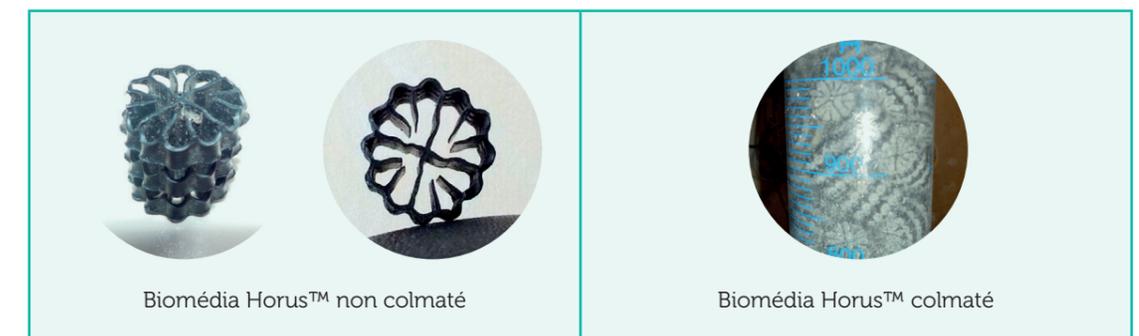
La diffusion d'air dans un réacteur MBBR, un rôle multiple qui demande une attention particulière

La diffusion d'air joue ici trois rôles, l'aération, le brassage et le décolmatage des médias :

> **L'aération** : Habituellement, l'aération par moyennes bulles est moins efficace. Mais ici, les moyennes bulles sont fractionnées par l'action des médias tout au long de leur remontée. Anoxkaldnes™ annonce des taux de transfert d'oxygène s'approchant de celui des fines bulles. La hauteur du réacteur est ainsi à vérifier.

> **Le brassage** : La répartition des rampes d'aération en fond d'ouvrage doit permettre de provoquer des courants en spirale au sein du réacteur (densité des rampes dégressive d'un bout à l'autre de l'ouvrage). Ceci permet d'optimiser le brassage des médias et donc la mise en contact de la pollution et de la biomasse épuratrice.

> **Le décolmatage des médias** : Il est bien entendu lié à la taille et à la configuration des interstices du support, mais également à l'efficacité de l'oxygénation et du brassage. En effet, ce sont les bulles d'air qui, en traversant le média, permettent le décrochage du biofilm excédentaire. Ainsi, une attention particulière doit être apportée à la puissance disponible.



> RÉTENTION DES BIOMÉDIAS AU SEIN DU RÉACTEUR

Pour que les biomédias ne soient pas entraînés avec les effluents vers l'étape de clarification, une rétention physique est obligatoire. Pour cela, une grille doit être positionnée au niveau de la sortie du réacteur biologique.

Deux types de grilles remplissent cette fonction :



Grille cylindrique (source FNDAE)



Grille plane (source FNDAE)

> Afin de réduire les risques de colmatage, nous préconisons l'emploi de grilles cylindriques plutôt que planes. Pour des supports de type BiofilmChip™ l'utilisation de grilles cylindriques est même à imposer au constructeur.

> En cas de mise en place de grilles planes, la fixation de la grille doit être réalisée par un cordon de soudure plutôt que par des points de soudure. En Provence-Alpes-Côte d'Azur, deux cas de casse de soudure par point ont été signalés.

POUR ALLER PLUS LOIN...

Si l'efficacité du brassage n'est pas optimale en créant un mouvement en spirale, les médias peuvent suivre un passage préférentiel créé par la traversée de l'effluent dans le bassin. Cela peut favoriser une accumulation de médias à la sortie du réacteur et ainsi colmater la grille de rétention.

Lors de la conception du système d'injection d'air, il est impératif de prévoir une insufflation d'air sous la grille de rétention. Comme cela est déjà réalisé pour certaines stations, nous préconisons d'ajouter un système d'insufflation d'air déporté, dédié au décolmatage de la grille.

En cas de colmatage de la grille, deux problèmes majeurs peuvent se produire :

- la casse des fixations de la grille du fait des forces trop importantes s'appliquant sur elles. Cette casse provoque des départs de médias vers l'étape de clarification.
- la mise en charge du réacteur pouvant entraîner son débordement et le départ de médias. Pour limiter ces risques, il est important de prévoir une sonde de détection de niveau d'eau du réacteur pour activer, dans un premier temps, le système de décolmatage lorsqu'il existe (système d'insufflation d'air propre à la grille) et augmenter la puissance d'aération du bassin pour provoquer la remise en suspension des médias. Si cela ne suffit pas et que le niveau continue de monter jusqu'à atteindre un niveau jugé critique, il faut stopper l'alimentation du réacteur.

> Par sécurité, il sera judicieux de prévoir un trop-plein avec une grille de rétention pour permettre à l'effluent en excès d'être évacué sans les biomédias.

QUESTION/RÉPONSE

Le départ de médias avec l'eau épurée est-il possible ?

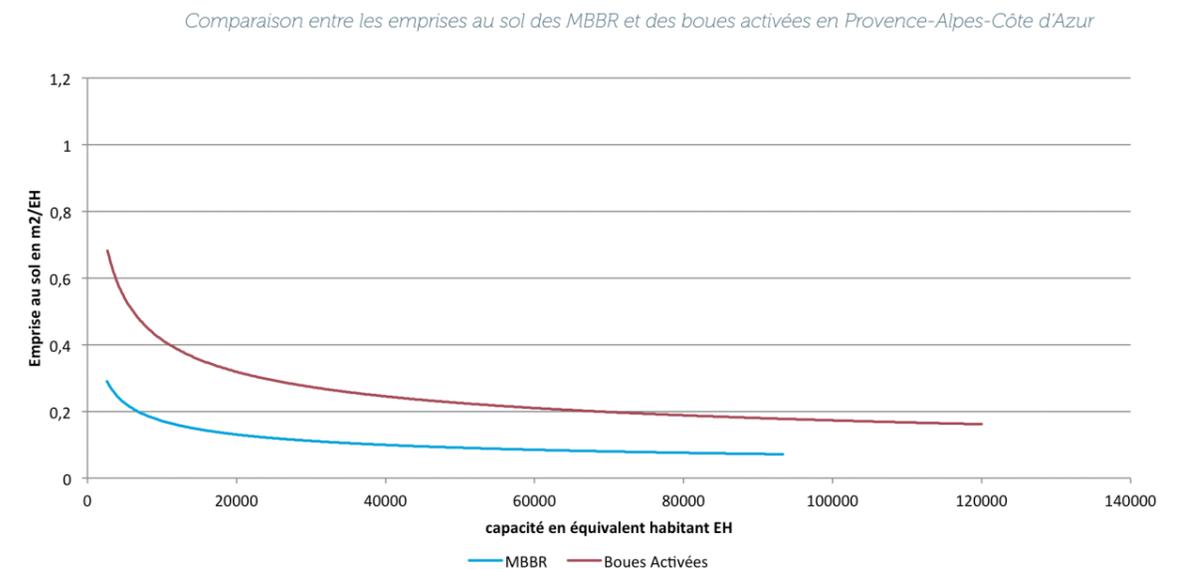
Sur le parc de stations suivies, des départs ponctuels de médias suite à une défaillance ont pu se produire, mais ils sont restés confinés dans l'enceinte de la station. Cette situation a été observée sur l'une d'entre elles. Leur conception ne permet pas de générer des départs chroniques de médias par débordement car les réacteurs sont couverts et un système d'alarme permet d'avertir l'exploitant.

À titre informatif, l'association Surfrider Fondation recense les retours de particuliers signalant des dépôts de biomédias sur les plages y compris en Provence-Alpes-Côte d'Azur.

Emprise au sol

L'Irstea indique que l'emprise au sol est réduite de 30 % environ par rapport à une boue activée. À partir de mesures de surfaces basées sur des photos aériennes, nous confirmons que l'emprise au sol appliquée aux stations MBBR est considérablement réduite par rapport à une station de type boue activée (environ 50 %).

Le graphique suivant représente les deux courbes de tendance obtenues à partir de mesures aériennes de l'emprise globale de 27 stations de type boues activées et 9 stations utilisant le procédé MBBR :



Remarque : La faible emprise au sol permet d'avoir une intégration paysagère adaptée aux sites d'implantation.

Molines - Saint-Véran
[6 000 EH]



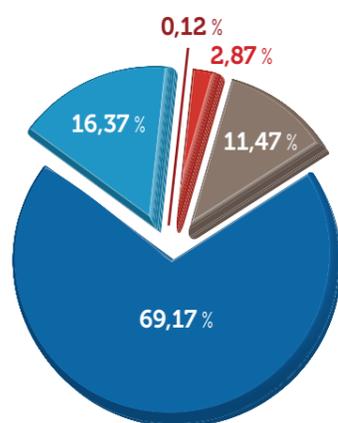
Efficacité du traitement

L'examen des résultats d'analyses effectué sur l'effluent traité au cours des 837 bilans réalisés sur 12 stations d'épuration entre 2013 et 2014, indique que :

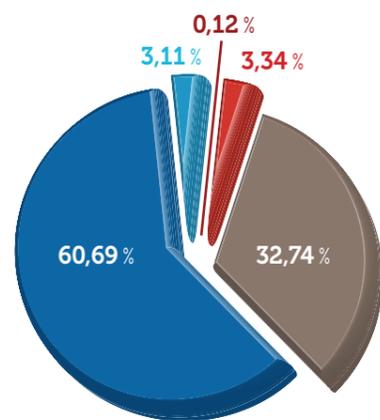
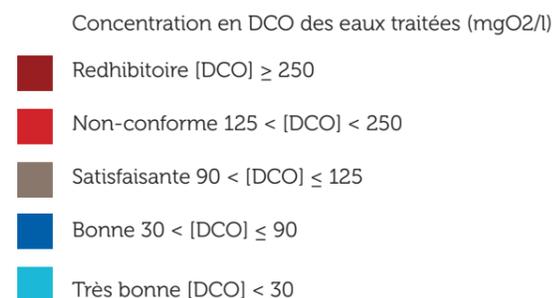
- la qualité du rejet est bonne à très bonne concernant la charge polluante rejetée 86 % du temps (concentration journalière en DCO* ≤ 90 mgO₂/l) [*DCO : demande chimique en oxygène]
- la rétention des matières en suspension (MES), est bonne à très bonne seulement 64 % du temps (concentration journalière en MES ≤ 15 mg/l)

La rétention des MES est donc moins efficace que le traitement de la pollution carbonée.

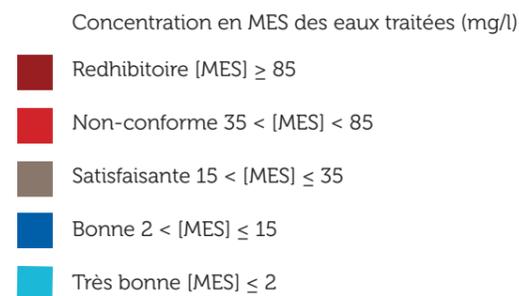
Pour la DCO comme pour les MES, 3 % des bilans réalisés entre 2013 et 2014 sont non-conformes, une seule valeur dépasse les concentrations réhabilitaires. L'analyse plus fine des données indique que ces dépassements s'expliquent par la réception d'une part importante d'effluents non domestiques sur les stations concernées.



La répartition des classes de qualité atteintes par l'effluent traité en DCO



La répartition des classes de qualité atteintes par l'effluent traité en MES



Nous constatons également que lors des non-conformités mesurées sur le paramètre MES (29 bilans), 72 % du temps, les stations traitaient une charge hydraulique inférieure à 80 % de leur capacité nominale. Il semblerait donc que **le manque de rétention des matières en suspension ne soit pas associé à une non-acceptation des surcharges hydrauliques, mais plutôt à des dysfonctionnements chroniques des systèmes de clarification.**

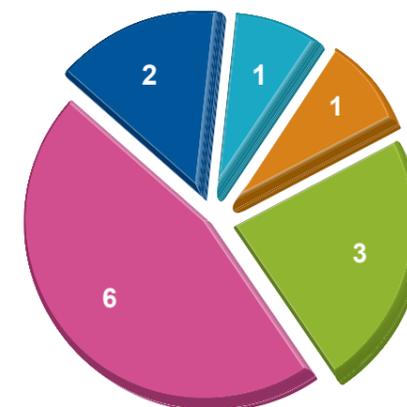
Remarque importante

Sur plusieurs stations, la charge organique de la période la plus chargée a été dix fois plus élevée que celle de la saison basse (forte variation saisonnière). Pour ces stations, la qualité du traitement a été maintenue durant la saison touristique.

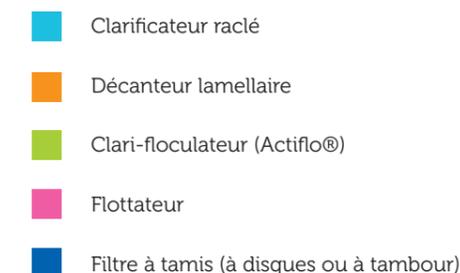
Clarification

La complexité des systèmes de clarification tranche avec la simplicité du réacteur biologique. En effet, il existe une multitude de systèmes de clarification associés au traitement biologique et les plus efficaces semblent être les plus complexes.

Nous présentons ci-après un état des lieux des systèmes de clarification utilisés dans notre région et tenterons de faire ressortir les spécificités de chacun.



Type de clarification en aval du réacteur MBBR en Provence-Alpes-Côte d'Azur



Nous ne traiterons pas de la clarification par clarificateur raclé classique, car ce système ne paraît pas du tout adapté au traitement biologique par MBBR. En effet, la seule station équipée d'un clarificateur de ce type pose des problèmes récurrents, plus ou moins importants, de remontées de boues à la surface occasionnant des départs de MES avec l'effluent traité. Ces remontées s'expliquent aisément par des floccs légers (culture fixée) et fortement oxygénés dont la capacité de décantation est limitée. Ce phénomène est accentué par une dénitrification non contrôlée entraînant la formation de petites bulles allégeant encore le flocc.

Par ailleurs, la forte emprise au sol de ce type de clarificateur n'est pas cohérente avec la compacité du procédé MBBR.

Nous conseillons donc de ne pas installer de clarificateur équipé de pont raclé ou suceur en aval d'un réacteur MBBR.

> FLOTTATEUR : 6 STATIONS MBBR ÉQUIPÉES EN RÉGION

Le flottateur est un équipement compact nécessitant une floculation préalable des particules légères par ajout de polymère. Par la suite, les floccs sont mis en flottaison par association à des micro-bulles d'air (cf. encadré technique) et évacués par raclage de surface. Une partie des particules décantent néanmoins et sont récupérées en fond d'ouvrage par un système de raclage ou de purge.

Ce procédé est adapté jusqu'à une concentration de 1,5 g MES/l en sortie du réacteur biologique.

L'analyse sur deux ans de la qualité des eaux traitées obtenues en sortie de ce système témoigne de difficultés récurrentes de rétention des MES. En effet, même si les résultats sont satisfaisants en moyenne, une forte variabilité des données est à noter.

Les départs de MES constatés traduisent la relative complexité du procédé qui nécessite :

- un bon dosage en polymère. Il est essentiel pour constituer des floccs capables de résister au débit entrant dans le flottateur et ainsi garantir une flottaison efficace. A contrario, l'ajout de coagulant (tel que du chlorure ferrique) n'est pas une obligation mais peut être retenu en cas de traitement du phosphore.
- une production et une injection de microbulles d'air adaptées.
- une bonne gestion du raclage des boues flottées car la fréquence de raclage est dépendante de la hauteur de mousses accumulées en surface. L'appréciation de la vitesse de formation de cette mousse requiert de l'expérience ainsi qu'un suivi régulier, notamment lors des pointes de charges journalières.

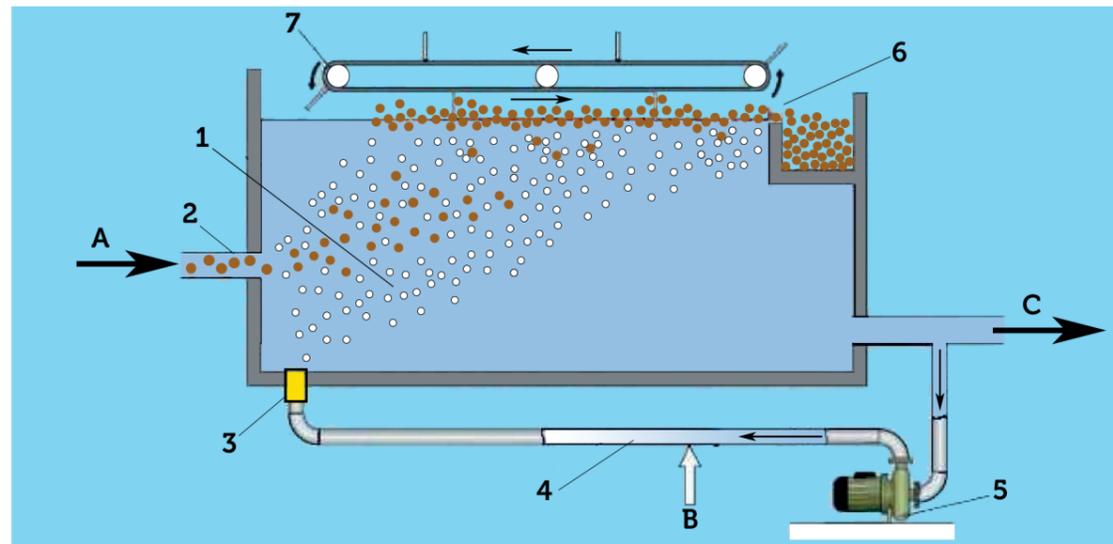


Figure 1 : Principe général de fonctionnement d'un flottateur à air dissous (ABABOU et al)

- | | |
|----------------------------------|--|
| 1 : Micro-bulles d'air | A : Eau brute (préalablement floculée) |
| 2 : Particules solides | B : Apport d'air comprimé |
| 3 : Soupape (système de détente) | C : Eau clarifiée |
| 4 : Eau sous pression | |
| 5 : Unité de pressurisation | |
| 6 : Boues flottées | |
| 7 : Racleur | |

Exemple d'un flottateur [Guide technique sur la flottation en sortie d'un réacteur biologique MBBR, Irstea]

POUR ALLER PLUS LOIN...

Quelques détails techniques...

- > Le mélange eau/air appelé "eau blanche" est créé à partir de la pressurisation (entre 4 et 7 bars) de l'effluent générant une fois détendu à la pression atmosphérique, des microbulles d'air de 40 à 70 µm de diamètre. Les pompes de pressurisation et les compresseurs doivent être équipés d'un secours.
- > Pour une flottation efficace (bon accrochage bulles-particules et stabilisation des floccs) et sans ajout de chlorure ferrique, il est conseillé d'utiliser un polymère organique cationique à haut poids moléculaire et de respecter un taux de traitement de 2,5 à 6 g/m³ d'eau traitée.
- > Du dimensionnement hydraulique dépendra la présence ou non de lamelles à l'intérieur du flottateur. Pour une vitesse de flottation fixée à 15 m/h, pas besoin d'ajouter de lamelles ; à partir de 20 m/h, il est nécessaire d'en mettre en place.
- > L'Irstea a mis en évidence des problèmes de conception sur certains ouvrages :
 - hauteur insuffisante du racleur de surface,
 - pompes d'injection du polymère non adaptées aux variations hydrauliques importantes,
 - localisation inadaptée du point d'injection du polymère,
 - mauvais réglage de la vanne d'ouverture de l'eau blanche.

Il sera donc utile de porter une attention particulière à ces différents aspects.

> Pour télécharger le guide technique de l'Irstea sur la flottation : <http://cemadoc.irstea.fr> > taper [flottation] dans l'onglet "recherche" > Titre du document : "La flottation en sortie de réacteur biologique MBBR, performances, avantages et limites".

> CLARI-FLOCULATEUR : 3 STATIONS MBBR ÉQUIPÉES EN RÉGION

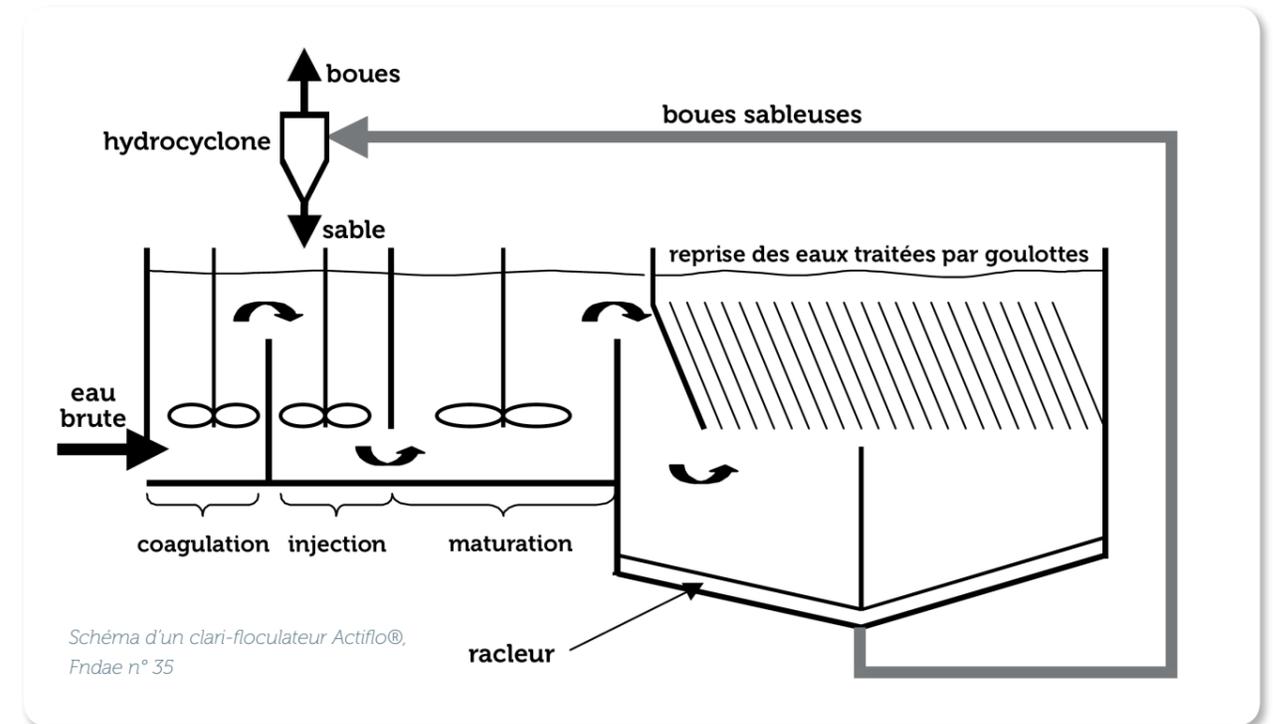


Schéma d'un clari-floculateur Actiflo®, Fndae n° 35

Le clari-floculateur est un décanteur lamellaire particulièrement compact. Cette compacité est rendue possible par l'ajout d'un élément lestant permettant de travailler à des vitesses de passage rapides. Dans le cas de l'actiflo® commercialisé par OTV-Véolia - seul clarificateur de ce type utilisé à l'aval d'un réacteur MBBR en Provence-Alpes-Côte d'Azur - le lestant utilisé est du micro-sable. Comme pour un décanteur lamellaire classique, une coagulation et une floculation préalables sont nécessaires par ajout respectif de chlorure ferrique et de polymère anionique. L'injection du micro-sable est réalisée après l'étape de coagulation.

À titre informatif, deux autres types de clari-floculateurs existent sur le territoire national :

- le Densadeg® proposé par Degrémont
- le Delreb® proposé par Stéreau

Dans les deux cas, l'élément lestant n'est pas du micro-sable mais des floccs de boues recirculés, préalablement récupérés en fond d'ouvrage.

Spécificités liées à l'utilisation du micro-sable

Les coûts d'achat du micro-sable étant relativement élevés et afin de limiter les quantités de boues évacuées, le micro-sable présent dans la boue décantée est en grande partie récupéré et réutilisé. Cette récupération se fait par centrifugation du mélange boues/micro-sable dans un hydrocyclone.

Les différentes consignes de fonctionnement et de suivi des hydrocyclones annoncées par le constructeur ne sont pas identiques en fonction des sites. De plus, certaines consignes sont difficilement respectées en exploitation. En effet, sur les appareils présents sur les stations suivies, nous avons constaté que le micro-sable recirculé en tête du clari-floculateur contenait une fraction non négligeable de boues, ceci ne répondant pas aux préconisations du constructeur. Une perte de micro-sable avec les boues évacuées est également observée. Cette perte est inévitable et un appoint automatique à paramétrer est prévu à la construction.

Toutefois, cette consommation de micro-sable a un faible impact sur le coût de fonctionnement global. À titre d'exemple, sur une des installations suivies, l'exploitant estime ce surcoût à 0,07€/EH/an. Il faut toutefois noter que le sable génère une dégradation prématurée des pompes et des équipements de la filière boue, d'où l'importance d'une récupération optimale.



Sur les sites visités, la recirculation du sable contient aussi de la boue.

POUR ALLER PLUS LOIN...

Quelques détails techniques concernant Actiflo®...

Les consignes pour la gestion des réactifs et du micro-sable sont centralisées dans le tableau suivant :

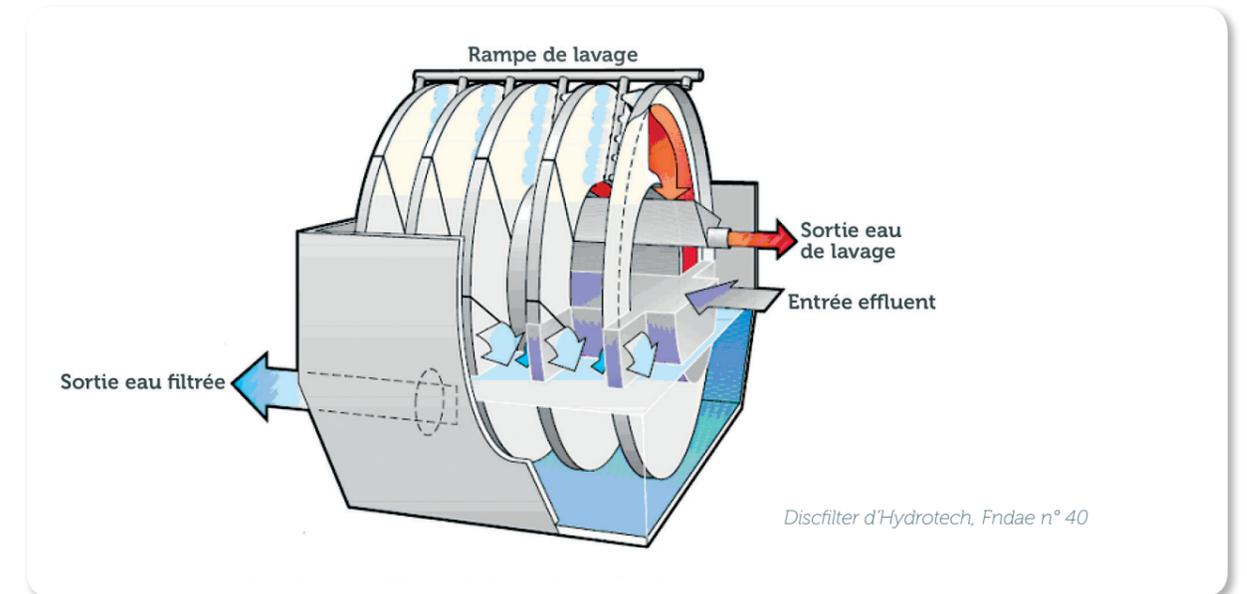
Consignes OTV (compilation de différentes notices d'exploitation)	
Réactifs	
Coagulant (FeCl ₃)	10 à 50 mgFeCl ₃ (pur)/l
Floculant (Polymère anionique)	0,5 à 1,5 mg(aktif)/l
Micro-sable	
Taux de traitement	1 à 5 kg/m ³
Consommation (compensation de la perte)	0 à 5 g/m ³
Suivi d'exploitation	
Taux de micro-sable dans la sousverse de l'hydrocyclone	150 à 300 ml/l
Taux maximal de micro-sable dans la surverse de l'hydrocyclone	10 ml/l
Coût du micro-sable (en 2014)	245 €/T de micro-sable

Les consignes ne sont pas respectées sur deux installations concernant la consommation en coagulant. Il reste à déterminer si cela traduit une exploitation non optimisée ou si au contraire, ces consignes sont à revoir.

Des points restent à éclaircir avec OTV-Véolia car nous avons constaté des différences sur les valeurs guides en fonction des notices d'exploitation des 3 stations. Il serait, par exemple, intéressant de connaître la proportion de boue acceptable dans le micro-sable recyclé et les moyens disponibles pour obtenir de meilleurs résultats. En effet, les notices d'exploitation précisent que le sable doit être complètement exempt de boues, ce qui n'est pas le cas dans les faits.

> Pour télécharger le FNDAE spécifique aux clari-floculateurs : www.fndae.fr > les documents techniques > n° 35 : "Les clari-floculateurs plus particulièrement utilisés en traitement tertiaire".

> FILTRE À TAMIS (À DISQUES OU À TAMBOUR) : 2 STATIONS MBBR ÉQUIPÉES EN RÉGION



Les filtres à tamis sont équipés de toiles filtrantes, en plastique (Hydroteck®) ou en inox (Amiad®, Faivre®), placées sur des disques successifs ou sur un cylindre appelé tambour. Les particules s'accumulent sur la toile pour former une couche appelée "gâteau" qui augmente le pouvoir filtrant. Lorsque ce gâteau devient trop important, le filtre est colmaté et un nettoyage de la toile est effectué.

Même si le fonctionnement de ce procédé peut paraître plus simple que d'autres puisqu'il ne nécessite pas une coagulation et une floculation préalable des effluents à clarifier, l'exploitation reste rigoureuse et minutieuse.



Filtre à tamis

POUR ALLER PLUS LOIN...

Points de vigilance particuliers

Concentration en matières en suspension [MES] de l'effluent à traiter

- Habituellement, il est plutôt recommandé d'utiliser ce type de filtres en traitement tertiaire où l'effluent à filtrer contient entre 30 et 40 mg MES/l. Aussi, l'utilisation en sortie d'un réacteur MBBR n'est pas sans risque puisque la concentration de l'effluent issu de ces réacteurs peut être très variable et atteindre régulièrement 500 mg MES/l.
- Les limites de tolérance du procédé sont proches puisque pour les filtres Hydroteck par exemple, les données du constructeur fixent une limite de fonctionnement à 600 mg MES/l.

Efficacité des lavages du tamis

- Généralement, les lavages réguliers sont effectués par aspersion par le biais de buses susceptibles de se colmater. Bien souvent, c'est l'eau traitée qui est utilisée pour le nettoyage de la toile. Ceci peut entraîner des bouchages des buses d'aspersion en cas de passage de MES dans l'eau filtrée. Afin d'éviter ce type de situation provoquant un emballement du dysfonctionnement, il est possible de sécuriser la recirculation par l'ajout de filtres autonettoyants dont la maille pourra être comprise entre 90 et 125 μm . Malgré tout, certains retours d'expériences témoignent également de colmatages de ces filtres.
- Le point essentiel pour la durée de vie des toiles filtrantes est un nettoyage efficace du "gâteau" qui imposerait d'utiliser de l'eau potable comme eau de lavage. Cependant, les consommations journalières peuvent être importantes et sont souvent bien supérieures à celles indiquées par les constructeurs. Aussi, si ce choix est fait à la construction, il pourra être utile de réclamer des garanties sur la consommation d'eau.

Améliorations possibles

- Il est conseillé d'utiliser une toile dont la maille est comprise entre 40 et 60 μm .
- Pour améliorer l'efficacité et la fiabilité de la filtration, des essais ont été réalisés pour limiter la pression appliquée sur la toile filtrante. Pour cela, il est possible d'ajouter une toile dont la maille est plus grossière en amont de la toile existante (système de double peau). Ce système a été testé sur un filtre Faivre disposant déjà de 2 toiles filtrantes en série : une toile de maille 300 μm a été ajoutée en amont de la première toile existante de 100 μm , puis une toile de 100 μm a été placée sur la seconde toile initialement présente de maille 36 μm .
- De même, un renforcement de la structure (raidisseurs et joints) a aussi été réalisé.

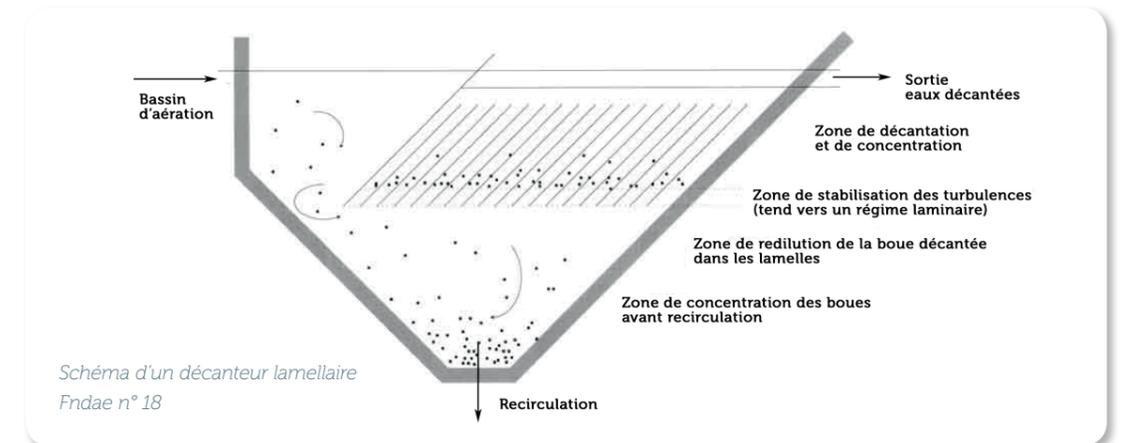
Ces deux modifications ont apporté une amélioration et pourraient être reproduites pour optimiser le fonctionnement de ces systèmes généralement utilisés en traitement tertiaire.

Remarque

Les retours sur l'utilisation de polymères n'ont pas été concluants ; les floccs formaient une couche épaisse à la surface de l'effluent provoquant une filtration moins performante.

> Pour télécharger le FNDAE abordant la clarification par filtre à tamis non spécifique au cas des MBBR www.fndae.fr > les documents techniques > n° 40 : "Affinage du traitement de la pollution particulaire par les procédés mécaniques rustiques".

> DÉCANTEUR LAMELLAIRE : UNE STATION MBBR ÉQUIPÉE EN RÉGION



Un décanteur lamellaire est un système de clarification nécessitant un pré-traitement physico-chimique des effluents à clarifier. En effet, l'action successive d'un coagulant (généralement du chlorure ferrique) puis d'un flocculant (généralement un polymère anionique) permet aux MES de l'effluent sortant du réacteur biologique de se regrouper en floccs.

Les effluents à clarifier alimentent par le fond un ensemble de lamelles inclinées qui permettent de réduire la distance de chute des floccs. Ce système de lamelles permet d'accepter des vitesses ascensionnelles plus importantes qu'un clarificateur classique, ce qui réduit considérablement l'emprise au sol de l'ouvrage.

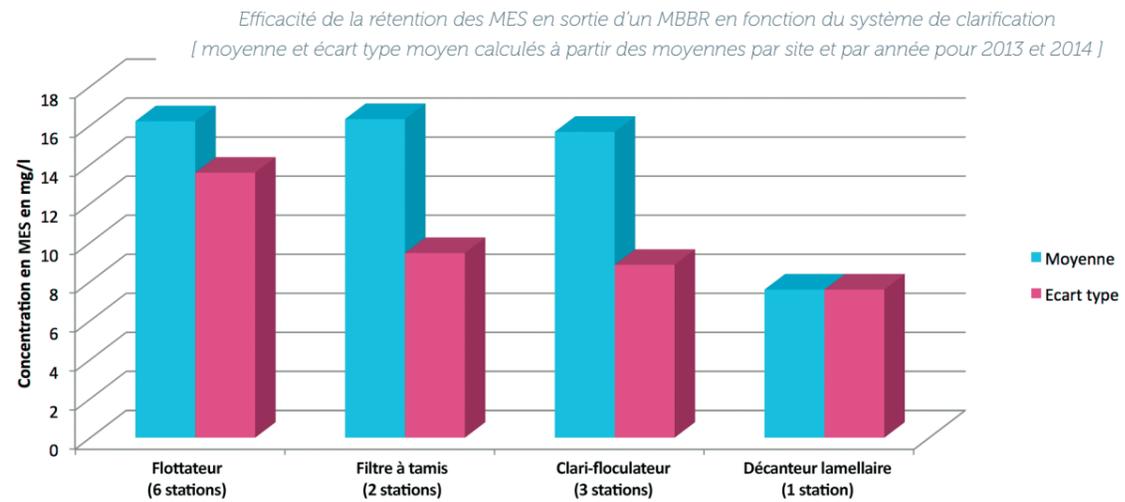
Les eaux clarifiées sont évacuées par surverse (par le haut) et les boues par le fond à l'aide d'une racle automatique.



Décanteur lamellaire

> Pour télécharger le FNDAE spécifique aux décanteurs lamellaires : www.fndae.fr > les documents techniques > n° 18 : "La décantation lamellaire des boues activées".

> COMPARAISON DES SYSTÈMES DE CLARIFICATION



Les concentrations en sortie des différents procédés sont faibles avec un net avantage pour le décanteur lamellaire, mais dont les données proviennent uniquement d'un site fonctionnant en sous charge importante. Les deux installations équipées d'un filtre à tamis ont une capacité de moins de 10 000 EH. On peut s'interroger sur l'adaptation de ce système à de plus grosses capacités.

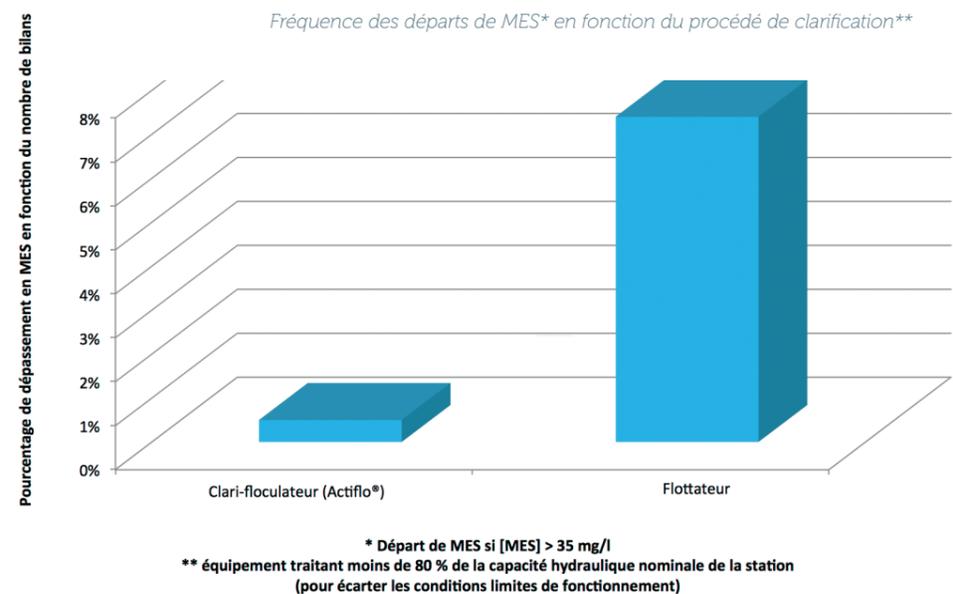
Le clari-floculateur équipe des installations d'une capacité supérieure à 30 000 EH en région. La rétention des matières en suspension est satisfaisante avec néanmoins des écarts sur les valeurs observées. Le taux de charge organique de ces installations est compris entre 20 et 50 %.

Le flottateur présente la plus grande variabilité sur les concentrations mesurées en sortie.

Zoom sur les clari-floculateurs et les flottateurs

De par leur compacité et leur adaptation à des charges hydrauliques élevées, les flottateurs et les clari-floculateurs apparaissent comme les procédés les plus adaptés à l'aval de réacteurs MBBR.

Nous avons donc étudié la fréquence des dépassements de MES à partir des données recueillies sur 2 ans.



Pour l'étude, nous avons écarté les données correspondant aux bilans réalisés dans des conditions hydrauliques supérieures à 80 % de la charge nominale pour ne pas être dans des conditions limites de fonctionnement des ouvrages de clarification.

L'analyse des résultats traduit :

- une excellente rétention des MES par les clari-floculateurs : 3 dépassements pour 547 analyses
- une fiabilité un peu moindre des flottateurs : 12 dépassements pour 162 analyses.

À titre informatif, 2 dépassements ont été enregistrés sur 48 analyses pour les filtres à tamis et un seul sur 48 dans le cas du décanteur lamellaire. Le nombre d'analyses et les conditions de fonctionnement des installations concernées ne nous paraissent pas assez représentatifs pour en tirer des conclusions.

Pour conclure sur la clarification en sortie de réacteur MBBR, nous constatons que, si l'exploitation du traitement biologique est relativement simplifiée par rapport à une boue activée, l'étape de clarification demande une expertise et un suivi rigoureux.

Effluent sortant d'un flottateur



Consommation énergétique

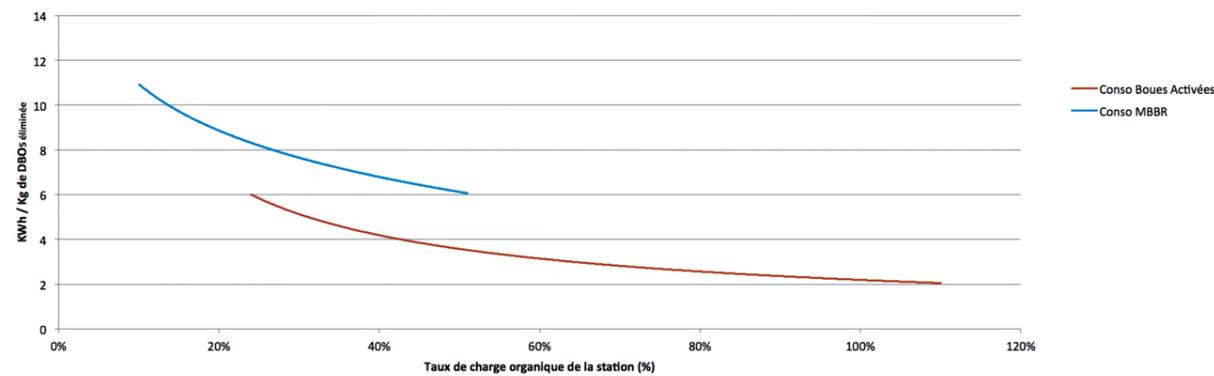
La consommation énergétique est importante pour ce type de procédé. Elle est liée en effet à la mise en mouvement des supports de fixation à l'aide du système d'aération.

en fonction de la charge organique reçue, est **1,3 à 1,5 fois supérieure à celle d'une boue activée** pour des niveaux de traitement relativement équivalents.

Ce point constitue une voie d'amélioration pour les constructeurs. La moyenne de la consommation énergétique spécifique concernant les années 2013 et 2014 est de 9,1 kW/KgDBO_{éliminée}.

La consommation énergétique d'une station MBBR,

Consommation énergétique du procédé MBBR et des boues activées en fonction de leur taux de charge organique
(Données de l'année 2013 provenant du suivi de l'ARPE PACA)



POUR ALLER PLUS LOIN...

Vers une réduction des consommations électriques ?

Pour limiter la consommation énergétique, il faudrait optimiser l'usage de l'aération pour le brassage des médias. L'utilisation d'agitateurs qui permettrait l'arrêt de l'aération sans pénaliser le brassage des médias est une voie de recherche des constructeurs. Pour le moment, à notre connaissance, les seuls exemples d'utilisation d'agitateurs mécaniques concernent des réacteurs MBBR fonctionnant en anoxie pour la dénitrification, ou en anaérobie, pour des effluents concentrés. En anoxie, des puissances entre 10 et 30 W/m³ pour un taux de remplissage du réacteur à 50 % permettent un brassage lent des biomédias.

Quoi qu'il en soit, une protection autour des pales de l'agitateur et le choix d'un média adapté sont essentiels.

En région, des tests de syncopage de l'aération ont été réalisés dans des réacteurs équipés de BiofilmChip™ sans agitation. Des phases d'arrêt de 15 mn, 30 mn et même 2 heures ont été appliquées sans générer un colmatage des médias ou une augmentation importante de la concentration en MES en sortie du réacteur.

Toutefois, le syncopage de l'aération sans agitation provoque des passages préférentiels dans le réacteur, limitant le contact entre la pollution et les bactéries.

Pour réaliser des économies d'énergie, il est également possible de construire plusieurs réacteurs ayant un surpresseur dédié, de faible puissance. Bien que plus coûteux à la construction, cette configuration offre la possibilité de pouvoir maintenir des réacteurs en état de veille avec des phases d'aération très courtes lorsque la capacité totale de traitement de la station n'est pas utile. Ce mode de fonctionnement est particulièrement adapté aux stations subissant de fortes variations de charge saisonnière. Une des stations d'épuration suivie à une configuration de ce type, ce qui a permis d'obtenir une consommation énergétique de 5 kW/KgDBO_{éliminée}.

Production de boue

Notre étude de la production de boues se base sur le rapport entre la quantité de boue extraite de la station d'épuration et la quantité de pollution traitée (kgMS/kgDBO_{éliminée}). Pour une boue activée, sans ajout de chlorure ferrique, le ratio communément admis est compris entre 0,8 et 1kgMS/kgDBO_{éliminée}.

La production de boue moyenne sur les 12 stations étudiées sur 2 ans est de 0,9 kgMS/kgDBO_{éliminée} (résultat identique à celui du FNDAE n°38 sur les MBBR exprimé en kgMES/kgDBO_{éliminée}).

Nous avons toutefois constaté une variabilité de la production de boues en fonction du procédé de clarification. Les flottateurs produisent globalement peu de boue, avec un ratio moyen de 0,7 kgMS/kgDBO_{éliminée} alors que les clari-floculateurs présentent un ratio moyen de 1,2 kgMS/kgDBO_{éliminée} (données comprises entre 0,9 et 1,4).

Le plus faible ratio calculé pour les flottateurs pourrait s'expliquer par les départs de matières en suspension constatés.

A contrario, la surproduction de boues associée aux clari-floculateurs s'explique sans doute en grande partie par les pertes de micro-sables observées dans les boues extraites.

Remarque

Il ne s'agit là que de tendances et des études complémentaires seraient sans doute nécessaires pour statuer précisément car la détermination de la production de boues est toujours délicate en raison d'une accumulation d'incertitudes de mesures.

CONCLUSION: avantages, inconvénients et améliorations

IL RESSORT DE NOTRE SUIVI que le procédé MBBR est un procédé compact et bien adapté aux communes subissant de fortes variations saisonnières de population.

CE PROCÉDÉ IMPOSE D'ÊTRE VIGILANT sur plusieurs points lors de la conception et des améliorations sont encore à développer pour optimiser son fonctionnement et son exploitation.

Avantages

- Compacité.
- Confinement des réacteurs dans des ouvrages fermés adaptés au froid et au traitement des odeurs.
- Adaptation aux variations saisonnières de la charge organique.
- En cas d'à-coup hydraulique, il n'y a pas de perte excessive de la biomasse épuratrice qui induirait une baisse d'efficacité du traitement.

Inconvénients

- Consommation énergétique élevée due à l'apport d'oxygène en continu utilisé pour le brassage des médias.
- Risque de colmatage des grilles de rétention des médias.
- Efficacité limitée de la rétention des MES.
- Technicité élevée et suivi rigoureux des systèmes de clarification contrebalançant la simplicité d'exploitation du réacteur biologique.

Ci-après quelques points de vigilance propres à certains systèmes :

- colmatage des buses de nettoyage et des toiles filtrantes des filtres à tamis ;
- prise en main complexe des flottateurs pour la gestion des réglages de la racle de surface et du dosage des réactifs ;
- taux de récupération du micro-sable des actiflos non optimisé.

Améliorations possibles

- Augmenter le nombre de réacteurs MBBR pour une adaptation à la montée en charge organique
- Avoir plusieurs surpresseurs de faible puissance pour mieux adapter la demande énergétique aux besoins
- Choisir des médias adaptés au brassage mécanique
- Équiper les réacteurs carbone et ammoniacque avec des agitateurs lents
- Placer uniquement des grilles de rétention cylindriques
- Concernant les systèmes de clarification :
 - bannir l'utilisation de clarificateurs classiques
 - adapter les filtres à tamis aux concentrations en MES sortant d'un réacteur MBBR
 - stabiliser la rétention des MES des flottateurs
 - optimiser la séparation boue/micro-sable dans l'hydrocyclone des actiflos®

POUR APPROFONDIR L'ÉTUDE DU PROCÉDÉ MBBR, il nous paraîtrait intéressant d'étudier son adaptation à des augmentations rapides du débit traité par temps d'orage. Cette étude impliquerait un suivi spécifique du réacteur biologique ainsi que des systèmes de clarification associés.





Les réacteurs à lits fluidisés ou **MBBR** (Moving Bed Biofilm Reactor) en Provence-Alpes-Côte d'Azur

Un procédé compact adapté aux communes subissant de fortes variations saisonnières de population



INFORMATIONS PRATIQUES

Annelise FREIHAUT, Coordinatrice de l'Unité "Assainissement et Milieux Aquatiques"

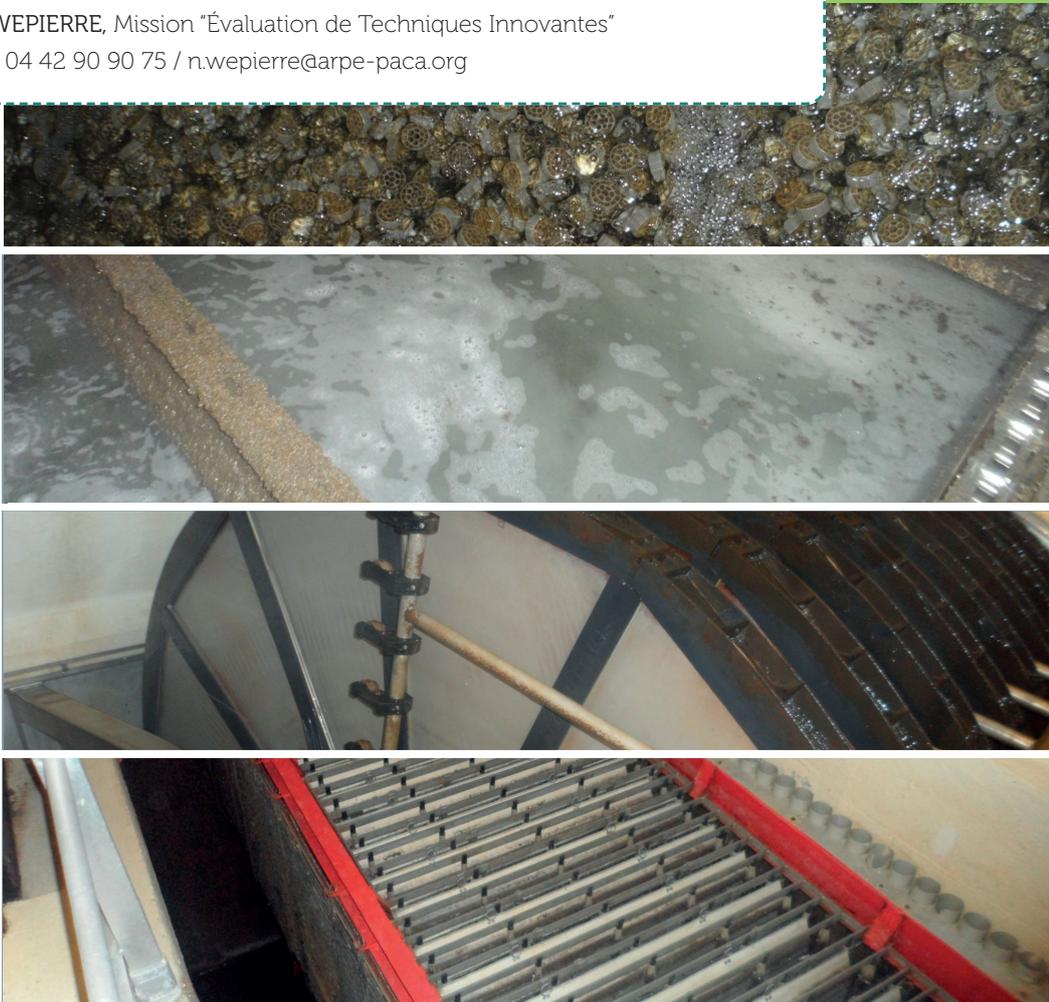
Nicolas WEPIERRE, Mission "Évaluation de Techniques Innovantes"

04 42 90 90 75 / n.wepierre@arpe-paca.org

Partenaire :



arpe-paca.org



Agence régionale pour l'environnement et l'écodéveloppement Provence-Alpes-Côte d'Azur (ARPE PACA) - CS 10452 - 13591 Aix-en-Provence Cedex 3
Mireille BENEDETTI, Présidente • Directeur de la publication : Claude HOLYST, Directeur • Réalisation : ARPE PACA - unité Information & communication
Rédaction : ARPE PACA - Assainissement & milieux aquatiques
Document imprimé sur papier recyclé 100 %, écolabellisé, sans chlore • Azoé • Imprimerie Vallière labellisée Imprim'Vert

Septembre 2016

L'ARPE, un syndicat mixte



Région
Provence
Alpes
Côte d'Azur