

# PRESENTATION GENERALE DU PROCEDE

## 1. PRINCIPE DU TRAITEMENT

8

Le procédé MBBR est un traitement biologique de type culture fixée. La biomasse est fixée sur un support synthétique qui est maintenu en mouvement par fluidisation. Une file de traitement standard peut être composée de différents réacteurs en série suivant le traitement souhaité. La biomasse fixée est spécifique à chaque réacteur puisque le support, ou biomédias, ne transite pas d'un réacteur à un autre. L'intérêt de la culture fixée est 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 du réacteur.

Au cours du traitement, la pollution soluble et solubilisée biodégradable est plus ou moins traitée, fonction du degré de traitement recherché, par la biomasse et la pollution particulaire biodégradable non assimilée est piégée par l'ouvrage de séparation à l'aval au même titre que la biomasse en excès.

La biomasse fixée excédentaire se décroche puis elle est piégée dans l'ouvrage de séparation biomasse/effluent traité situé à l'aval (clarificateur, flottateur ou filtration mécanique).

Une bonne fluidisation est nécessaire au traitement. Elle est fonction de différents facteurs comme le type de biomédias retenus, le taux de

remplissage de biomédias des bassins, la configuration des ouvrages, le débit d'air injecté et leur répartition au niveau du radier ou la puissance d'agitation mécanique pour les réacteurs dénitrifiants.

Les réacteurs MBBR ne nécessitent pas de recirculation de la boue en tête du réacteur biologique.

En dehors des paramètres classiques au traitement (substrat, oxygène, carbone minéral, azote ammoniacal et orthophosphates, ...), l'activité biologique va dépendre d'un bon contact entre la biomasse et l'effluent à traiter, d'où la nécessité d'une très bonne homogénéisation (fluidisation) du support dans le réacteur par aération ou agitation. Cette fluidisation est nécessaire au traitement pour faciliter les échanges substrat/biomasse. Les frottements entre les supports permettront également une meilleure maîtrise de l'épaisseur du biofilm qui contribuera à l'efficacité des échanges au sein même du biofilm.

Ces biomédias sont maintenus dans les réacteurs par la présence de grilles placées en entrée et en sortie de chaque ouvrage et dont la maille est plus faible que le diamètre (ou la largeur) des supports.

### Les principaux avantages de cette technologie sont les suivants :

- Spécifiques aux cultures fixées : c'est à dire une forte tolérance aux variations de charges hydrauliques et la possibilité de redémarrage rapide d'une installation après une période d'arrêt.

- Propres au procédé : par une simplicité d'exploitation (équivalent à une boue activée pour la partie réacteur biologique), la compacité, un taux de remplissage en biomédias évolutif en fonction de la charge à traiter et l'absence de lavage pour éliminer la biomasse formée.

## 2. DIFFERENTS SUPPORTS DISPONIBLES

Il existe sur le marché de nombreux supports aux caractéristiques spécifiques. Chaque support a son domaine d'application : type de traitement recherché et taux de remplissage maximal.

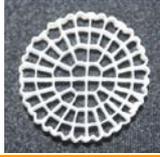
Chaque biomédia est caractérisé par sa surface spécifique exprimée en  $m^2/m^3$  de matériau.

Sur ce point, il convient de préciser que la surface spécifique effective couramment retenue est la surface utile qui correspond à la surface protégée du biomédia. Ainsi, la surface extérieure du support qui est confrontée aux forces d'abrasions liées aux chocs des supports entre eux lors de la fluidisation n'est pas disponible pour la biomasse fixée et n'est donc pas intégrée dans la surface utile. De même, une partie de la surface interne du matériau peut ne pas être accessible au substrat (cas des supports avec une faible porosité entraînant une mauvaise circulation du substrat à travers le matériau) ou développant des surfaces spécifiques très importantes dont une partie n'est pas toujours accessible.

Il convient également d'être prudent pour le paramètre volume de matériau (ou de support).

Celui-ci peut représenter suivant les cas un volume de biomédias en vrac ou un volume de biomédias rangés et bien ordonné dans  $1 m^3$ . Lorsque l'on parlera de surface effective pour un support donné, on parlera de  $m^2$  de surface protégée ramenée au  $m^3$  de matériau bien ordonné. Ces données sont communiquées par les constructeurs et on note des différences importantes de surface effective entre un matériau ordonné et un matériau en vrac, de l'ordre de 20 à 30 % selon les supports retenus. Certains constructeurs donnent des surfaces annoncées correspondant à la surface d' $1 m^3$  de matériau en vrac afin de garder la cohérence avec le taux de remplissage. Dans tous les cas, il conviendra de bien spécifier si les surfaces annoncées sont ramenées au  $m^3$  de matériau vrac ou bien ordonné.

Les supports les plus connus en terme de performances sont les supports développés par Kaldnès, société à l'origine du procédé.

Nom	Forme	Taille en mm (longueur x diamètre)	Composition	Surface spécifique effective (m <sup>2</sup> / m <sup>3</sup> de matériau)	Taux maximum de remplissage en %
K1 (Kaldnes)		7 x 9	PE	500	67
K2 (Kaldnes)		15 x 15	PE	350	67
K3 (Kaldnes)		12 x 25	PE	500	67
K5 (Kaldnes)		4 x 25	PEHD	800	-
Biochip-M (Kaldnes)		2,2 x 48	PE	1200	60
Biochip-P (Kaldnes)		3 x 45	PE	900	60
Natrix C2 (Kaldnes)		30 x 36	PE	220	65
Natrix M2 (Kaldnes)		50 x 64	PE	200	65

PE : Polyéthylène.

A ce jour, d'autres supports sont utilisés, ou en cours d'étude dans les équipes Recherche et Développement des constructeurs. Avant leur utilisation effective, des études devront être

menées pour affiner leurs règles de dimensionnement. A titre d'information, les nouveaux supports connus à ce jour présentent les caractéristiques suivantes :

Nom	Forme	Taille en mm (épaisseur x diamètre)	Composition	Surface spécifique effective (m <sup>2</sup> / m <sup>3</sup> de matériau)	Taux maximum de remplissage en %	Applications
BMX 1 (Produit VINCI Environnement)		7 x 9	PE	545	67 (carbone et nitrif) 60 (anoxie)	Carbone + Azote (nit / dénit)
Meteor 660 (Produit Degremont pour l'Europe)		12 x 12,2	PEHD	660	67 (carbone et nitrif) 60 (anoxie)	Carbone + Azote (nit / dénit)
Meteor 450 (Produit Degremont pour les USA)		15 x 22	PEHD	450	67 (carbone et nitrif) 60 (anoxie)	Carbone + Azote (nit / dénit)
Meteor 515 (Produit Degremont pour les USA)		15 x 22	PEHD	515	67 (carbone et nitrif) 60 (anoxie)	Carbone + Azote (nit / dénit)

PEHD : Polyéthylène haute densité.

On note pour chaque support, un taux de remplissage maximum, qui représente le meilleur compromis entre la compacité et la fluidisation.

Pour des installations où le taux de charge est évolutif dans le temps, il est fortement conseillé d'augmenter de façon progressive le taux de remplissage en fonction de la charge entrante sur la station. Cette évolution permet de faciliter la fluidisation et donc de réaliser des gains économiques en termes de puissances énergétiques utilisées mais aussi d'éviter pour des installations dimensionnées pour traiter le carbone de nitrifier et d'avoir une dénitrification non maîtrisée sur l'étage clarification.

**En résumé, les données à préciser dans les réponses aux appels d'offre sont les suivantes :**

- **les caractéristiques du support utilisé** (diamètre, épaisseur et espacement intérieur du cloisonnement) pour chaque réacteur,
- **la surface spécifique développée par m<sup>3</sup>** pour chaque support, en précisant la surface utile ou totale mais aussi si la surface totale par m<sup>3</sup> de support est ramené au m<sup>3</sup> vrac ou bien ordonné,
- **le volume de chaque réacteur biologique** dédié au traitement,
- **le taux de remplissage retenu** et maximal,
- **et la charge spécifique éliminée retenue** pour le traitement du carbone (kg de DBO<sub>5</sub> éliminée/ m<sup>2</sup> de surface utile et par jour) et de l'azote (kg de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> éliminée/ m<sup>2</sup> de surface utile et par jour).

### 3. PRINCIPAUX PARAMETRES DE DIMENSIONNEMENT

Les principaux paramètres de dimensionnement des procédés MBBR sont la charge surfacique appliquée ou éliminée par m<sup>2</sup> de surface utile et par jour associée à un rendement et la température associée. La charge surfacique appliquée a des conséquences sur le rendement obtenu, donc sur la charge éliminée et sur la qualité des eaux rejetées.

L'unité utilisée est différente selon le type de traitement recherché:

- en g de DBO<sub>5</sub> (ou de DCO) appliquée /m<sup>2</sup> de surface utile et par jour pour le traitement du carbone.
- en g de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> appliqué /m<sup>2</sup> de surface utile et par jour pour le traitement de l'azote en nitrification.
- g de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> appliqué /m<sup>2</sup> de surface utile et par jour pour le traitement de l'azote en dénitrification.

Ainsi, les rendements annoncés par les constructeurs doivent systématiquement être accompagnés de la charge surfacique appliquée et de la température de traitement retenue dans le réacteur ou à l'entrée de la station d'épuration. Notons une augmentation d'un à deux degrés entre l'entrée station et la température du réacteur biologique.

La surface totale utile de support est obtenue par le produit du volume de réacteur concerné par le taux de remplissage de matériau du réacteur et par la surface effective du support retenu (exemple : le support BIOCHIP M développe 1200 m<sup>2</sup> de surface protégée /m<sup>3</sup> de matériau ordonné). Inversement, le volume du réacteur biologique peut être calculé à partir de la charge surfacique, du flux de DBO<sub>5</sub> à traiter, de la surface spécifique du support retenu et du taux de remplissage.

#### Formules utilisées :

#### **Surface totale utile de support en m<sup>2</sup> nécessaire au traitement**

= Flux de DBO<sub>5</sub> à traiter par jour / charge surfacique de dimensionnement retenue pour traiter la DBO<sub>5</sub>.

#### **Volume de matériau nécessaire au traitement en m<sup>3</sup>**

= Surface totale utile de support / Surface spécifique du support retenu

#### **Volume du réacteur biologique en m<sup>3</sup> pour traiter la DBO<sub>5</sub>**

= Volume de support nécessaire / Taux de remplissage

L'efficacité du traitement nécessite une excellente fluidisation qui dépend fortement du type de support retenu et de son taux de remplissage. Chaque support est caractérisé par un taux de remplissage maximal (compromis entre la compacité et les puissances énergétiques nécessaires à la fluidisation). Un support à très forte surface spécifique associé à son taux de remplissage maximal permettra de gagner en compacité et donc en emprise au sol. Cependant, la compacité a des limites que sont les contraintes d'installations du système de diffusion d'air au radier, les sections de passage du flux hydraulique (entrée et sortie des ouvrages) et la vitesse d'entraînement du matériau par le flux.

La charge volumique, correspondant à des kg de DBO<sub>5</sub> appliquée / m<sup>3</sup> de réacteur et jour, permet essentiellement de comparer les installations en terme de compacité pour les réacteurs biologiques et apporte des informations sur le temps de séjour des effluents dans le réacteur.

Le temps de séjour obtenu à partir de la charge volumique est un temps de séjour sans prise en compte du volume occupé par le support. Le temps de séjour réel est compris entre le temps de séjour sans support et le temps de séjour avec support, sans prise en compte du volume d'eau à l'intérieur du support. Le temps de séjour avec support est obtenu en multipliant le temps de séjour sans support par le pourcentage d'eau dans le réacteur obtenu par (1-Taux de remplissage).

#### 4. PRINCIPALES CONFIGURATIONS ENVISAGEABLES ET LEURS DOMAINES D'APPLICATION

Le procédé MBBR peut répondre à différentes applications :

##### - Cas de la réhabilitation d'une station d'épuration existante surchargée, avec deux possibilités de configuration :

- L'implantation du procédé MBBR en tête de filière (amont d'une boue activée) a un double objectif : maintien des ouvrages existants et diminution de la charge appliquée sur la boue activée.

- Mise en place du support à l'intérieur du réacteur biologique de la boue activée existante (appelé système hybride ou IFAS). Cette configuration nécessite par contre un certain nombre d'aménagements du réacteur biologique comme la mise en place de grilles en sortie et des modifications au niveau de la répartition de l'air injecté sur le radier du réacteur biologique. Ce procédé IFAS peut aussi être implanté pour une installation neuve.

##### - Cas de stations neuves avec la 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 (réacteur pré dénitr, réacteur carbone, réacteur nitrification, réacteur post dénitr).

Cette technologie permet de traiter la pollution carbonée et azotée (nitrification seule ou nitrification-dénitrification, en pré ou post pour la dénitrification) en fonction des niveaux de rejets demandés. Pour cela, un réacteur propre à chaque traitement est installé.

Par contre, le traitement du phosphore est réalisé uniquement par traitement chimique (ajout de sels métalliques) soit au niveau de l'étape primaire (lorsqu'il est présent) soit à l'amont immédiat du séparateur.

Plusieurs files de traitement MBBR en parallèle sont généralement installées afin de réduire le

volume du réacteur biologique pour faciliter la fluidisation ou pour répondre à la problématique variation de charge (une ou plusieurs files alimentées suivant la période de l'année).

A l'amont de l'étape biologique, la filière standard de traitement est toujours composée d'une étape de prétraitement performante constituée d'un dégrillage dont la maille n'excède pas 3 mm et d'un dessableur-deshuileur. Par contre, la mise en place d'un traitement primaire n'est pas obligatoire.

A l'aval de l'étape biologique, la séparation de la biomasse produite de l'effluent traité peut être réalisée par décantation classique (ou lamellaire dans le cas où la compacité est recherchée), par flottation à air dissous ou par filtration mécanique (quelques références en France). Dans le cas d'une décantation classique ou lamellaire, des mesures devront être prises pour éviter la dénitrification « sauvage » dans l'ouvrage.

Dans tous les cas, compte tenu de l'absence de recirculation des boues (hors cas de l'IFAS où les boues sont recirculées), les concentrations en MES dans le réacteur et entrant sur l'ouvrage de séparation sont très faibles (concentrations inférieures à 300 mg de MES/l pour des eaux usées domestiques en temps sec, concentration fonction de la concentration en DBO<sub>5</sub> et en MES des eaux d'entrée et de la présence ou non d'un traitement primaire).

L'adjonction de flocculant et/ou de coagulants sont fortement conseillés pour la clarification et obligatoire pour la flottation. Par contre, elle n'est pas systématique pour la séparation par filtration sur toile et dépendra de la concentration en MES de sortie recherchée. Dans ce dernier cas, une addition de FeCl<sub>3</sub> en tête de filtration est appliquée.

Les principales configurations envisageables sont présentées ci-dessous (liste non exhaustive) :

## Cas du traitement du carbone

### A - Nouvelle installation

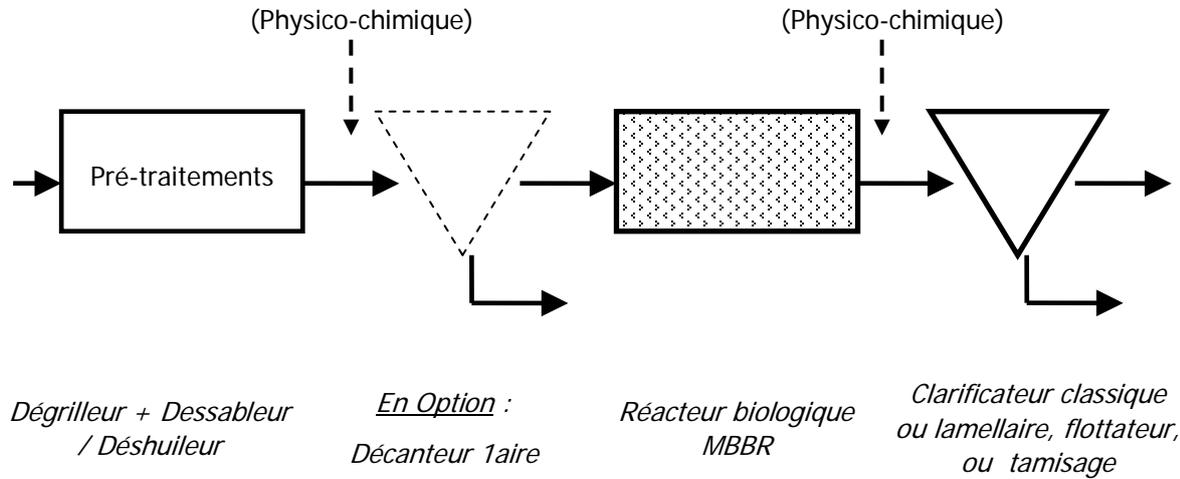


Figure 1 : Configuration d'une filière MBBR en traitement du C pour une station neuve.

Les grandes lignes de dimensionnement annoncées sont les suivantes:

	Charge surfacique retenue	Rendements escomptés
En traitement du carbone	4 à 10 g de DBO <sub>5</sub> appliquée / m <sup>2</sup> de surface utile de support. jour	de l'ordre de 75 à 95 %.

14

La charge surfacique retenue est fonction des rendements recherchés et de la température des effluents à traiter. Dans tous les cas, les performances dépendent aussi du matériau

retenu, de son degré de fluidisation (donc de son taux de remplissage) et de l'absence de facteur limitant (principalement oxygène dissous et nutriments).

### B - Réhabilitation d'une station existante

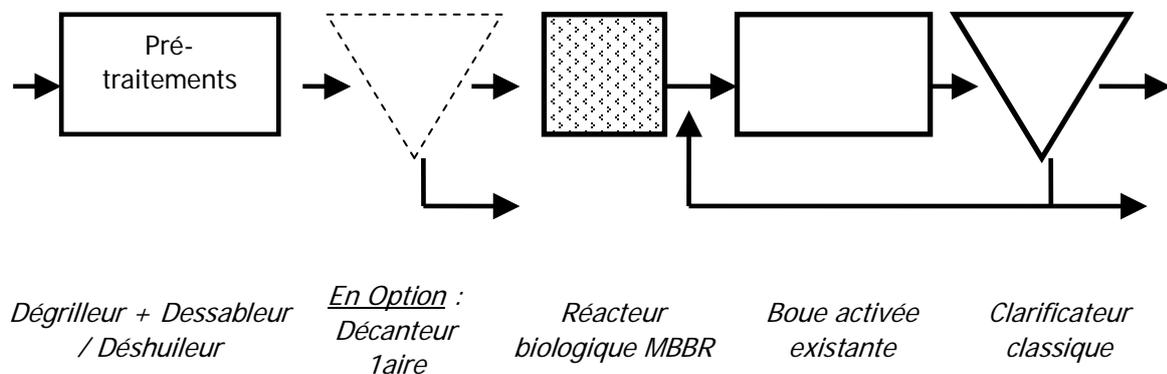


Figure 2 : Configuration d'une filière MBBR en traitement du C pour une réhabilitation de station.

Remarque

Il est possible d'implanter un séparateur entre le MBBR et la Boue Activée pour permettre une meilleure maîtrise des âges de boue de chaque étage de traitement.

Les grandes lignes de dimensionnement annoncées pour un pré-traitement sont les suivantes:

	Charge surfacique retenue	Rendements escomptés
En Traitement du carbone	10 à 20 g de DBO <sub>5</sub> appliquée / m <sup>2</sup> de surface de support. jour	de l'ordre de 60 à 75 %

Comme précédemment, la charge surfacique retenue est fonction des rendements recherchés et de la température des effluents à traiter. Dans tous les cas, les performances dépendent aussi du

matériau retenu, de son degré de fluidisation (donc de son taux de remplissage), de l'absence de facteur limitant (oxygène, nutriments).

Cas du traitement complet du Carbone et de l'Azote

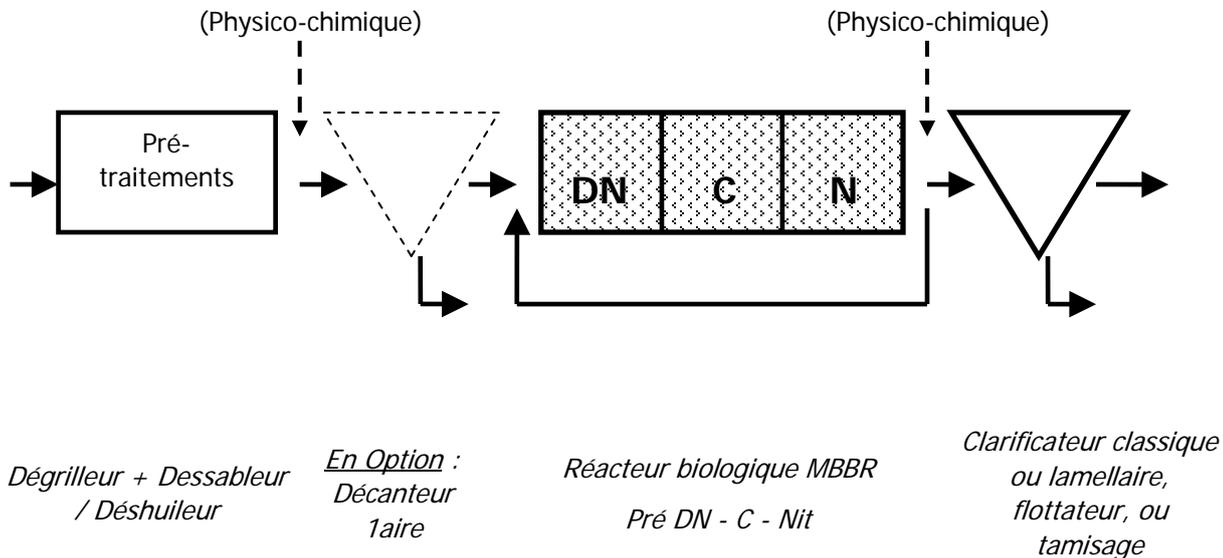


Figure 3 : Configuration d'une filière MBBR en traitement complet du C et du N pour une station neuve.

Remarques

Lors du dimensionnement de la zone de dénitrification, il conviendra de prévoir une zone de désoxygénation afin d'éviter un apport d'O<sub>2</sub> trop important et de pénaliser ainsi une partie du réacteur de dénitrification.

Dans le cas d'un traitement poussé sur l'azote, il est possible d'ajouter un 4<sup>ème</sup> réacteur MBBR en fin de traitement pour la post dénitrification avec l'apport d'une source externe de carbone.

Les grandes lignes de dimensionnement annoncées sont les suivantes :

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

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

## 5. AUTRES ELEMENTS IMPORTANTS DE CONCEPTION A PRENDRE EN COMPTE :

16

### 1 - Pré-traitements :

Cette première étape de traitement est fondamentale pour toutes les filières de traitement et plus spécifiquement pour le procédé MBBR.

Au niveau de l'étape dégrillage, les préconisations sont la mise en place d'une maille inférieure ou égale à 3 mm. La taille de cette maille est liée prioritairement au type de support retenu dans les réacteurs biologiques, mais elle doit aussi tenir compte du diamètre ou de l'espacement des mailles de grilles retenues à l'entrée et sortie des réacteurs.

Pour le dessablage-dégraissage, les valeurs des paramètres de dimensionnement sont classiques. Il conviendra toutefois de bien s'assurer que le poste dégraissage est correctement dimensionné afin d'éviter toute introduction de graisses dites particulières dans les réacteurs ; celles-ci étant préjudiciables au traitement par les risques importants de colmatage des supports, des grilles et de leur stagnation sur chaque réacteur biologique.

### 2 - Etage primaire

Le traitement primaire n'est pas une étape obligatoire. Son implantation à l'amont du procédé est souvent motivée pour les raisons suivantes :

- Répondre à une problématique de variation de charges. La mise en place d'un étage primaire, avec ou sans réactif, permet de diminuer le coefficient de variation de charges appliqué sur le réacteur biologique pour le traitement du carbone, à condition d'une mise en route uniquement lors de la montée en charge.

- Limiter les volumes du réacteur biologique tout en gardant une production de boue plus élevée. L'implantation d'un décanteur primaire peut s'avérer intéressante dans le cas où une digestion des boues est retenue sur le site.

- Traiter le phosphore par injection de réactifs physico-chimiques. Notons que ce traitement peut aussi s'implanter à la sortie du réacteur biologique ce qui permet de s'affranchir ainsi du traitement 1aire. Rappelons également que l'injection de sels métalliques pour la coagulation (cas de FeCl<sub>3</sub>) occasionne en raison de son acidité une consommation de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> dont la carence peut pénaliser l'étape de nitrification aval, préjudiciable pour certaines installations situées dans des régions où les eaux usées sont faiblement chargées en HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>.

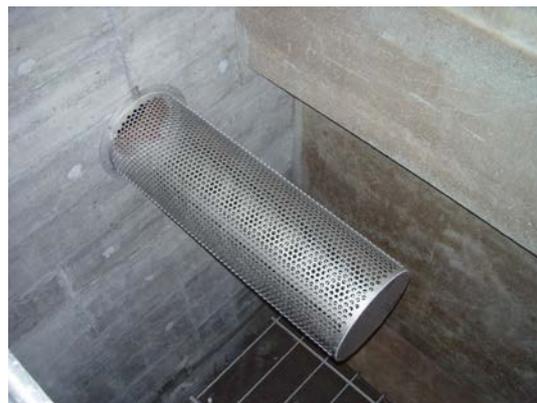
- Dans certains cas où la séparation physique en sortie du réacteur biologique s'effectue par tamisage, et où la concentration en MES peut être limitante en entrée de tamisage.

### 3 - Etage secondaire

- Partie réacteur biologique
- o Grilles de retenue du matériau

Il existe différents types de grilles, leur choix étant fonction du support retenu, du débit traversier, de la dimension du réacteur et du mode d'agitation retenu (grilles planes pour l'anoxie).

Deux types de grilles sont couramment rencontrés: les grilles planes et les grilles cylindriques.



Photos : Exemple de Grilles de retenue de matériau.

L'objectif de ces grilles est de maintenir le biomédia spécifique à un traitement donné dans son réacteur dédié (carbone, nitrification et dénitrification). Elles sont fixes, entièrement immergées et mise en place en sortie de chaque réacteur, voir également en entrée du premier.

Ces grilles sont en contact constant avec la biomasse produite et excédentaire du réacteur et un risque de colmatage est toujours possible. Leur

nettoyage est assuré d'une part de façon continue par le frottement du biomédia dont les mouvements résultent de la fluidisation du support et d'autre part dans certains cas par un dispositif de décolmatage à l'air.

Les risques de colmatage sont pris en compte lors de la conception du réacteur en intervenant sur le point d'implantation de la grille, sa forme et son orientation.

Dans certains cas, un dispositif de décolmatage spécifique peut être envisagé par la mise en place d'une rampe d'injection d'air à la base de la grille.

Dans tous les cas, il conviendra d'installer des capteurs de niveaux ou sondes de détection de niveau haut dans chaque réacteur biologique afin d'être alerté d'un éventuel colmatage des grilles et d'éviter ainsi le débordement du réacteur (eau et biomédias, aux contraintes de ré-introduction très lourdes).

Lors de l'élévation du niveau d'eau dans un réacteur suite au colmatage des grilles principalement par les biomédias, les stratégies de décolmatage automatiques à mettre en place sont les suivantes :

- 1- Augmenter le débit d'air pour renforcer la fluidisation du matériau et donc la fréquence de frottements entre les biomédias,
- 2- Déclencher la rampe de décolmatage à l'air si elle est prévue,
- 3- Si le colmatage persiste, arrêter l'alimentation de la file concernée, puis abaisser le niveau afin d'effectuer un décolmatage manuel à l'aide d'injection d'eau sous pression (Type Karcher).

#### o Fluidisation

Elle est assurée avec l'apport d'air nécessaire au traitement (besoins en oxygène pour la biomasse et pour l'oxydation des composés à traiter). Cela signifie qu'au moment où la demande en O<sub>2</sub> pour le traitement est faible, il convient de maintenir un débit d'air minimum suffisant pour garder la fluidisation du support sur l'ensemble du réacteur afin d'optimiser le contact biomasse / effluent à traiter. De plus, une mauvaise fluidisation peut occasionner des courts-circuits hydrauliques au sein des réacteurs et pénaliser la qualité du rejet.

Cette fluidisation peut aussi être assurée par agitation mécanique pour les réacteurs dénitrifiants.

Ce poste aération pour la fluidisation doit être automatisé et optimisé au maximum car il occasionne des coûts en énergie non négligeables.

La fluidisation, par apport d'air ou par agitation, nécessite une bonne implantation des équipements pour aider la mise en mouvement du support dans le réacteur biologique.

Ainsi, une implantation non homogène des rampes d'air process au niveau du radier, facilite la fluidisation en créant un mouvement de spiral flow dans le réacteur biologique.

La conception de la fluidisation permettra de maintenir une concentration de matériau support uniforme dans le volume du réacteur

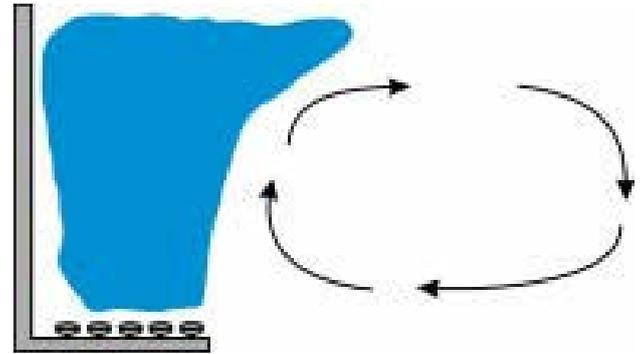


Figure 4 : schéma du spiral flow en coupe (doc technique FNDAE n°26).

Il conviendra également de veiller à éviter tout obstacle au mouvement des biomédias au sein des réacteurs (présence de piliers, angle mort dans les bassins) et de réaliser des ouvrages de dimensions et formes facilitant ce mouvement continu des supports.

#### o Agitation mécanique

Pour les réacteurs dénitrifiants qui nécessitent l'absence d'oxygène, la fluidisation est assurée par agitation mécanique. Dans ce cas, les supports retenus devront être adaptés, ce qui signifie des biomédias avec une bonne résistance mécanique. A titre d'exemple, le biochip n'est pas adapté pour les réacteurs équipés d'agitateurs.

#### o Apport d'air

Dans le choix des surpresseurs, leur gamme de débit et leur nombre sont des facteurs importants à prendre en compte. Ils seront nécessairement équipés d'un variateur de vitesses et connectés entre eux pour permettre une plus grande souplesse de pilotage. Un appareil en secours est également obligatoire.

Le choix des appareils doit permettre de faire face aux différentes configurations de fonctionnement du procédé, soit 1 seule file alimentée soit 2 files, le réacteur N seul ou les réacteurs C et N en série. Leur gamme de débit doit pouvoir apporter l'air nécessaire uniquement à la fluidisation (réacteur non alimenté, période nocturne sans charge à

traiter) et l'air nécessaire à la fluidisation et au traitement à pleine charge de dimensionnement.

Leur fonctionnement est asservi à des mesures d'O<sub>2</sub> dissous dans les réacteurs, avec des seuils hauts et bas et différentes temporisations (des minimums et maximums de temps de marche et d'arrêt).

Il est à noter que la maintenance de ces sondes est très élevée et nécessite un nettoyage méticuleux fréquent. En effet, elles sont immergées dans les supports en mouvement et on observe un développement de biomasse comme sur tout support. De plus les biomédias en mouvement viennent régulièrement se bloquer au niveau de la sonde et empêcher ainsi la mesure.

#### o Remplissage du matériau

Lors du démarrage d'une installation, le chargement en biomédias des réacteurs doit être réalisé suivant une procédure spécifique intégrant le savoir-faire du constructeur pour faciliter le mouillage rapide du support et éviter sa stagnation en surface des bassins. Par la suite, la fluidisation est facilitée avec l'ensemencement du support.

#### - Partie séparation physique

Sur la file eau d'une filière de traitement, la séparation physique à l'aval du ou des réacteurs biologiques est généralement assurée par un clarificateur secondaire.

Pour répondre à cette séparation physique, certains sites sont équipés d'un décanteur lamellaire épaisseur avec son poste de coagulation-floculation pour l'injection de réactifs physico-chimiques. Le choix de ce type d'ouvrage s'explique par la recherche de compacité et la nécessité de traiter le phosphore par voie physico-chimique. De plus, en raison des très faibles concentrations en MES à l'entrée de l'ouvrage, l'apport de réactifs facilite aussi la formation de floccs de taille plus importante.

Pour d'autres installations, cette séparation physique est assurée par un flottateur à air dissous. Ce choix s'explique par la recherche d'une compacité encore plus importante mais aussi par la nécessité de concentrer la boue en milieu aérobique afin de s'affranchir d'une étape d'épaississement. Ce procédé présente également l'avantage de s'affranchir du risque de dénitrification sauvage (pertes de boues par dénitrification endogène) au niveau de cette étape de traitement (Cas des filières avec étape de nitrification ou filières de traitement du carbone en sous charge).

Enfin, dans certains cas (1 ou 2 références en France), cette séparation peut être assurée par une filtration sur toile. L'utilisation de cette technologie peut présenter certains avantages : faibles concentrations des eaux traitées, composition du rejet fiable et stable, système compact et adapté à des effluents chargés en nitrates mais aussi à de faibles concentrations en MES à l'entrée.

#### - Divers

Le dimensionnement des procédés MBBR occasionne des temps de séjour relativement courts dans les ouvrages. Il en résulte qu'en période de pointe de charge (hydraulique et organique), le temps de contact entre la biomasse et la pollution à traiter est réduit. Dans ce contexte, tout à-coup de pollution important peut avoir des incidences temporaires sur la qualité des eaux rejetées.

A titre d'exemple, la gestion des retours de la filière de déshydratation des boues devra être précisée. L'objectif étant d'éviter des apports importants et ponctuels des centrats concentrés en tête de l'installation et plus particulièrement sur l'azote. Dans certains cas, une bache tampon avec réintroduction à faible débit de ces retours dans le temps peut être une solution.

## RESULTATS OBTENUS SUR DEUX INSTALLATIONS ETUDIEES ST SORLIN D'ARVES ET VARS – ST MARCELLIN.

Les deux sites d'étude retenus, Saint Sorlin d'Arves (73) et Vars - Saint Marcellin (05), permettaient de répondre à deux objectifs fixés dans le cadre des travaux de recherche d'Irstea :

- Evaluation des procédés nouveaux : Ces sites correspondent aux premières installations MBBR mises en route en France,

- Sites dimensionnés pour une problématique variation de charge, avec, en particulier, une approche adaptabilité de la filière à traiter des variations de charge importantes.

### 1. PRESENTATION DES SITES ETUDIES.

20

Les principales caractéristiques des sites étudiés sont les suivantes :

	Saint Sorlin d'Arves (73)	Vars – St Marcellin (05)
Maître d'ouvrage	SIVOMA (Syndicat Intercommunal à Vocation Multiple des Arves)	Communauté de communes du Guillestrois.
	Station neuve	Réhabilitation (maintien des pré traitements et de l'étage primaire)
Date de la mise en eau	fin 2007	Mi 2009
Constructeur	VINCI Construction France Agence Rhône Alpes (Lyon – 69)	Sogea (Groupe VINCI) Agence Sud Est (Martigues - 13)
Maître d'oeuvre	Montmasson Conseil	IRH
Procédé retenu	R3F (Procédé MBBR)	
Taille de la station d'épuration	17 000 EH	22 000 EH
Flux de DBO <sub>5</sub> à traiter / jour	1020 kg de DBO <sub>5</sub> /j	1320 kg de DBO <sub>5</sub> /j
Autres particularités :	Collectivités d'activité touristique hivernale d'où une variation de charge retenue lors du dimensionnement	
	d'un facteur 30 sur la station (et 16 sur le MBBR)	d'un facteur 8,4

Les différentes étapes de traitement sont composées des ouvrages suivants :

### Pour la file eau

- Une étape pré traitement standard : dégrilleur, dessableur et dégraisseur.

Au niveau de cet étage, le dimensionnement du dégrilleur est essentiel pour la filière et plus particulièrement sa maille qui ne doit pas excéder 3 mm. La maille retenue dépend fortement du biomédia (en raison des problèmes de colmatage du support). La taille du biomédia aura aussi une incidence sur les caractéristiques des grilles implantées dans le réacteur biologique pour maintenir les supports.

- Un étage de décantation primaire de type lamellaire avec réactifs physico-chimiques.

Cette étape de traitement n'est pas obligatoire pour la technologie MBBR mais son choix pour les deux sites s'explique par les variations de charge importantes des communes retenues, associé à la recherche d'une filière compacte afin de limiter l'emprise au sol, minimiser le coût de la couverture des ouvrages et le volume d'air à traiter pour la désodorisation.

L'implantation d'un étage primaire a pour conséquence une production de boue plus

importante ainsi que l'obtention d'une boue non stabilisée (taux de MVS élevé).

En plus de l'étage primaire de type lamellaire, la recherche de compacité pour l'ensemble de la filière a été prise en compte par le choix du procédé R3F mais aussi d'un ouvrage de clarification de type lamellaire pour un site et de type flottation pour le second.

- Une étape biologique composée de 2 files parallèles avec pour chacune 2 étages de traitement.

Ces 2 étages sont dus aux objectifs de traitement recherchés (un étage carbone et un étage azote pour la nitrification uniquement). La présence de 2 files parallèles s'explique par la prise en compte de la problématique variation de charges avec la possibilité d'arrêter une file en basse saison et de limiter ainsi les consommations énergétiques.

- Et d'une étape de clarification soit par décantation lamellaire soit par flottation à air dissous.

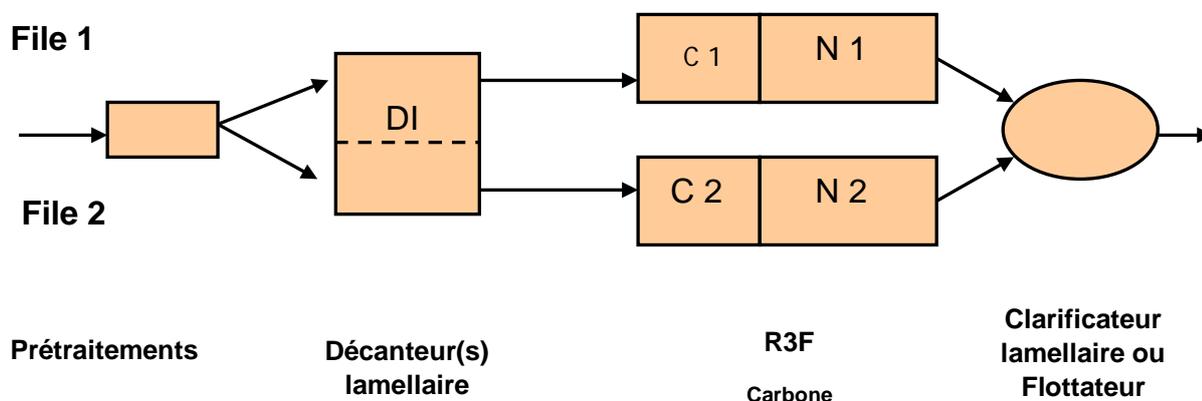


Figure 5 : Schéma de principe de la file Eau.

On notera, pour chaque site, les particularités suivantes :

Saint Sorlin d'Arves (73)	Vars – St Marcellin (05)
Bassin d'orage	Bassin d'orage
Station équipée de 2 files parallèles identiques à l'exception d'un seul dessableur-deshuilleur et d'un seul flottateur	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.
Flottateur pour la clarification des eaux de sortie station.	Décantation lamellaire avec réactifs physico chimiques pour la clarification des eaux de sortie station.

### Pour la file boue

- Epaissement par un épaisseur hersé intégré à l'ouvrage de décantation (1aire et secondaire) pour le site de Vars; sur un ouvrage spécifique pour les boues primaires pour le second site, les boues biologiques étant épaisies par le flottateur.

- Déshydratation par centrifugation,  
- Bennes d'évacuation des boues déshydratées dont les siccités garanties sont les suivantes :

22

Saint Sorlin d'Arves (73)	Vars – St Marcellin (05)
Haute saison : 28 % +/- 2 % avec réactifs	21 % +/- 1 %
Basse saison : 18 % +/- 2 % sans réactifs et by pass de l'étage primaire.	

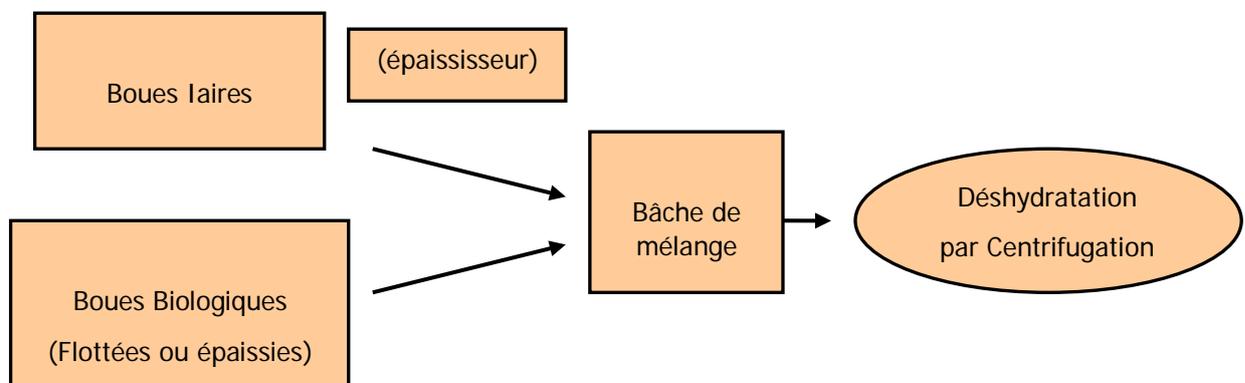


Figure 6 : Schéma de principe de la file Boues.

On notera, pour chaque site, les particularités suivantes :

Saint Sorlin d'Arves (73)	Vars – St Marcellin (05)
Epaississement des boues primaires uniquement (objectif : 50 g/l), les boues biologiques étant concentrées par le flottateur (objectif : 35 g/l).	Epaississement des boues l <sup>aire</sup> au fond du décanteur lamellaire (objectif : 50 g/l) et des boues biologiques au fond du clarificateur secondaire (objectif : 10 g/l).
Bâche de mélange (objectif : 47 g/l)	Bâche de mélange (objectif : 35 g/l)

Les niveaux de rejet demandés sont les suivants :

	Saint Sorlin d'Arves (73)	Vars – St Marcellin (05)
Température des eaux brutes retenue	≥ 11°C en moyenne hebdomadaire	≥ 5°C
Traitement du carbone	Concentration maximale moyenne sur 24 h.	
DCO	125 mg/l ou 75 %	125 mg/l ou 75 %
DBO <sub>5</sub>	25 mg/l ou 87 %	25 mg/l ou 87 %
MEST	31 mg/l ou 90 %	35 mg/l ou 90 %
Traitement de l'azote	Concentration maximale moyenne sur 24 h.	En moyenne annuelle et en moyenne sur la période du 1 février au 15 mars.
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	19 mg/l ou 73 %	15 mg/l ou 70 %
Traitement du phosphore		En moyenne annuelle
PT	Néant	2 mg/l ou 80 %

## 2. PERFORMANCES OBTENUES SUR L'ETAGE BIOLOGIQUE DE TYPE R3F POUR LE TRAITEMENT DU CARBONE ET DE L'AZOTE.

### A. ETAGE BIOLOGIQUE

Toutes les données présentées dans cette partie sont issues des flux d'entrée sur l'étage biologique (entrée R3F) 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 N. Ce flux assimilé représente de l'ordre de 20 % d'abattement sur l'azote ou, pour plus de précisions, correspond à 5 % de la DBO<sub>5</sub> éliminée sur l'étage carbone.

Les volumes des réacteurs retenus et le type de biomédia sont les suivants :

Sites	Type de matériau et surface utile	Taux de remplissage	Volume total du réacteur biologique - charge volumique	Proportion en volume de chaque réacteur	
				Réacteurs C	Réacteurs N
St Sorlin d'Arves (17 000 EH)	Biochip	51 % (A terme 60%)	414 m <sup>3</sup> Cv = 0,91 kg de DBO <sub>5</sub> /m <sup>3</sup> de réacteur. j	35 %	65 %
Vars – St Marcellin (22 000 EH)	1200 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> de matériau	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. j	28 %	72 %

On observe des charges volumiques très différentes entre les deux collectivités qui s'expliquent par les taux de remplissage différents et par les charges surfaciques retenues lors du dimensionnement. Celles-ci sont fonction du

niveau de rejet demandé et de la température retenue pour le respect des niveaux de rejet.

La qualité des eaux rejetées, suivant les jours de mesure (J1, J2, J3), est la suivante :

En mg/l	Saint Sorlin d'Arves (73)			Vars – St Marcellin (05)			
	Niveaux de rejet demandés	J2	J3	Niveau de rejet demandés	J1	J2	J3
Pollution organique							
DCO	< 125	67	75	< 125	43	41	39
DBO <sub>5</sub>	< 25	10	16	< 25	< 6	6	/
MES	< 31	20	25	< 35	14	13	10
Pollution azotée							
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	< 19,4	29	30	< 15	2,7	2	1,8
Pollution phosphorée							
PT	/	0,68	0,64	< 2	0,31	0,44	0,34

Notons que le site de Saint Sorlin d'Arves n'a pas respecté les niveaux de rejet demandés pour le seul paramètre pollution azotée. Ce non respect est dû à une mauvaise préparation de la montée en charge.

Différents documents sont déjà en ligne pour permettre de bien appréhender la problématique variation de charge. Ces documents se trouvent

sur le site Web d'Irstea, ou sur le site du Gis biostep, rubrique Publications collectives thème : Augmentation de la quantité de biomasse autotrophe par ajout d'alcali

([https://gisbiostep.cemagref.fr/les-publications-collectives-1/documents/ajout\\_d\\_alcali.pdf](https://gisbiostep.cemagref.fr/les-publications-collectives-1/documents/ajout_d_alcali.pdf))

ou sur le site du FNDAE avec le document technique n° 34 (<http://www.fndae.fr/>).

## Traitement du Carbone

### Dimensionnement de l'étage Carbone

	Saint Sorlin d'Arves (73)	Vars – St Marcellin (05)
Type de matériau retenu	BIOCHIP M (1200 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> de matériau)	
Taux de remplissage	51 % (60 % en situation future)	43 %
Volume des réacteurs	2 x 72 m <sup>3</sup> = 144 m <sup>3</sup>	2 x 140 m <sup>3</sup> = 280 m <sup>3</sup>
Volume de matériau	2 x 37 m <sup>3</sup> = 74 m <sup>3</sup>	2 x 60 m <sup>3</sup> = 120 m <sup>3</sup>
Charge volumique (par rapport au volume du réacteur carbone)	2,6 kg de DBO <sub>5</sub> appliquée / m <sup>3</sup> de réacteur .j	1,75 kg de DBO <sub>5</sub> appliquée / m <sup>3</sup> de réacteur .j
Charge surfacique appliquée sur l'étage carbone	4,2 g de DBO <sub>5</sub> appliquée / m <sup>2</sup> de surface de matériau .j	3,40 g de DBO <sub>5</sub> appliquée / m <sup>2</sup> de surface de matériau .j
Charge surfacique éliminée sur l'étage carbone	3,6 g de DBO <sub>5</sub> éliminée/ m <sup>2</sup> de surface de matériau .j	3,2 g de DBO <sub>5</sub> éliminée/ m <sup>2</sup> de surface de matériau .j
Rendement escompté sur la DBO <sub>5</sub>	84 %	95 %
Température des eaux brutes	T° > ou = à 11 ° C en moyenne hebdomadaire	T° > ou = à 5 ° C
Temps de séjour sur le moyen temps sec (/ volume total de réacteur)	1 h 18 mn.	2 h 02 mn.
Temps de passage sur le moyen temps sec (/ volume utile hors volume de matériau)	40 mn.	1 h 10 mn.

Les taux de remplissage ne sont pas très élevés (le taux maximal avec ce type de support se situe autour de 60 à 65 %), ce qui permettra à terme une capacité de traitement de l'installation plus importante.

De plus, ce faible taux de remplissage permet de limiter les consommations énergétiques en raison de la sous charge de l'installation (puissance de brassage et de consommation par la biomasse plus faible).

Les différences entre les 2 sites au niveau des charges surfaciques éliminées s'expliquent principalement par la température des eaux à

traiter retenue pour le respect de la qualité des eaux rejetées.

#### *Résultats obtenus sur les deux sites*

Il convient d'être prudent dans l'interprétation des performances mesurées car celles-ci dépendent de la quantité de biomasse installée, et donc de l'historique des charges appliquées sur le réacteur biologique avant nos mesures.

Les charges appliquées et éliminées obtenues durant les suivis (période de mesure en fin de période de pointe de charge -vacances scolaires-). Le système est donc considéré « en régime stabilisé » :

	Saint Sorlin d'Arves (73)			Vars – St Marcellin (05)		
	Dim.	J2	J3	Dim.	J1	J2
Taux de charge du réacteur %		33	54		87	72
Charge volumique (kg de DBO <sub>5</sub> appliquée/m <sup>3</sup> de réacteur.j)						
Part appliquée	2,6	0,87	1,41	1,75	1,48	1,22
Part éliminée	2,18	0,78	1,26	1,65	1,45	1,18
Rendement	84 %	90 %	90 %	94,5%	98 %	97 %
Charge surfacique (g de DBO <sub>5</sub> / m <sup>2</sup> de surface utile de matériau .j)						
Part appliquée	4,2	1,42	2,31	3,4	2,88	2,36
Part éliminée	3,6	1,28	2,07	3,2	2,81	2,3
Temps de séjour dans le réacteur ( / volume total du réacteur)						
	1 h 18	2 h 42	2 h 37	2 h 02	2 h 27	2 h 30

Les fortes variations de charge appliquées d'un jour à l'autre pour le 1er site sont dues essentiellement à l'impact des retours de la file boue (de l'ordre de 62 % d'augmentation). De plus, les rendements en DBO<sub>5</sub> plus faibles pour ce site, malgré des charges appliquées moins élevées, s'expliquent par des concentrations d'entrée beaucoup plus faibles mais aussi par les

rejets en DBO<sub>5</sub> totale plus élevés, dus aux pertes de MES.

Les principaux facteurs influençant les performances du traitement du carbone sont regroupés ci-dessous :

	Saint Sorlin d'Arves (73)			Vars – St Marcellin (05)		
	Dim.	J2	J3	Dim.	J1	J2
Temps de passage (volume utile d'eau)						
	40 mn	1 h 19	1 h 17	1 h 10	2 h 30	2 h 25
Température du réacteur						
	> à 11°C			> 8°C	12,6°C	12,6°C
Concentration moyenne en Oxygène dans les réacteurs mg d'O <sub>2</sub> /l						
	2	4 à 6		1 à 2	4 à 8	
Concentration en DBO <sub>5</sub> en mg/l						
Entrée réacteur	137	98	154	142	257	218
% de la fraction soluble Entrée	/	-	-	/	48 %	60 %
Sortie filière en DBO <sub>5</sub> T (filtrée)	25	9 (0 - 1)	16 (4)	25	5,6 (0 - 1)	6,1 (0 - 1)

	Saint Sorlin d'Arves (73)			Vars – St Marcellin (05)		
Taux de charge sur l'ouvrage en %						
	/	33 %	54 %	/	87%	72%
Paramètres physico chimiques :						
pH	/		7.8	/	7.6	7.4
cond	/			/	1325	1260

### ⇒ Synthèse pour le traitement du carbone avec le support Biochip M

Taux de remplissage avec du biochip M	Température dans le réacteur	Charge surfacique éliminée
51 % (St Sorlin d'Arves ) 43 % (Vars)	12,5°C	> 2,8 g de DBO <sub>5</sub> éliminée / m <sup>2</sup> de surface utile.j (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.j
	13°C	3,6 g de DBO <sub>5</sub> éliminée / m <sup>2</sup> de surface utile.j

27

**A ce stade, on retiendra pour une température de l'ordre de 12°C dans le réacteur, une charge éliminée de l'ordre de 3,0 g de DBO<sub>5</sub> éliminée/ m<sup>2</sup> de surface utile de matériau. j pour un rendement > à 95 % associé à une DBO<sub>5</sub> filtrée en sortie < à 5 mg/L.**

### Traitement de l'Azote

Pour les deux installations étudiées, le traitement de l'azote demandé nécessitait uniquement la nitrification puisque les contraintes du milieu récepteur portaient seulement sur l'azote ammoniacal.

La filière retenue par le constructeur pour éviter une dénitrification non contrôlée (endogène ou non) sur l'étape clarification a été la mise en place

d'un flottateur pour la station de Saint Sorlin d'Arves et d'une décantation lamellaire pour la station de Vars – St Marcellin en raison du faible temps de séjour des effluents dans l'ouvrage et de l'apport de réactifs chimiques pour améliorer la vitesse de sédimentation et répondre aussi à la déphosphatation demandée.

## Dimensionnement de l'étage Azote

	Saint Sorlin d'Arves (73)	Vars – St Marcellin (05)
Type de matériau retenu	BIOCHIP M (1200 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> de matériau)	
Taux de remplissage	51 % (60 % en situation future)	55%
Volume des réacteurs	2 x 135 m <sup>3</sup> = 270 m <sup>3</sup>	2 x 365 m <sup>3</sup> = 730 m <sup>3</sup>
Volume de matériau	2 x 69 m <sup>3</sup> = 138 m <sup>3</sup>	2 x 200 m <sup>3</sup> = 400 m <sup>3</sup>
Charge volumique (par rapport au volume du réacteur azote)	0,79 kg de N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> appliquée entrée C / m <sup>3</sup> de réacteur. J	0,37 kg de N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> appliqué entrée C / m <sup>3</sup> de réacteur. j
Charge surfacique appliquée sur l'étage azote	1,3 g de N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> appliqué entrée C / m <sup>2</sup> de surface de matériau .j	0,56 g de N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> appliqué entrée C / m <sup>2</sup> de surface de matériau .j
Charge surfacique éliminée sur l'étage azote	0.85 g de N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> éliminé entrée C / m <sup>2</sup> de surface de matériau .j	0.30 g de N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> éliminé entrée C / m <sup>2</sup> de surface de matériau .j
Rendement global en N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> escompté sur les 2 étages : C+N	65 %	54 %
Température des eaux brutes (retenue par le constructeur)	≥ 11 ° C en moyenne hebdomadaire	≥ à 5 ° C
Température du réacteur	≥ 11 ° C en moyenne hebdomadaire	≥ 8 ° C
Temps de séjour sur le moyen temps sec (/ au volume total de réacteur)	2 h 22 mn	5 h 20 mn
Temps de passage sur le moyen temps sec (/ volume utile hors volume de matériau)	1 h 13 mn	2 h 25 mn

28

On note des taux de remplissage très proches. Les charges surfaciques et donc volumiques appliquées sont très différentes, de l'ordre d'un facteur 2. Ceci s'explique par des niveaux de rejet garantis équivalents mais avec des températures d'effluents très différentes d'un facteur également proche de 2.

### Résultats obtenus sur les deux sites

Il convient ici aussi d'être prudent dans l'interprétation des performances mesurées pour le traitement de l'azote (biomasse autotrophe), car celles-ci dépendent de la quantité de

biomasse installée au moment des mesures, et donc de l'historique des charges appliquées sur le réacteur biologique, mais aussi des facteurs influençant la nitrification comme la température, les concentrations en substrat (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), en oxygène et en carbone minéral disponible pour la nitrification (exprimé en mg HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>).

Pour plus de détails, tous ces points ont été largement développés dans plusieurs documents, en particulier dans le document technique FNDAE n° 34 sur la gestion des charges variables et sur le site WEB du Gis biostep (<https://gisbiostep.cemagref.fr/>).

Les mesures ont été réalisées en période de pointe hivernale (vacances de février) et après deux semaines de charge appliquée importante afin de s'approcher d'un régime dit stabilisé.

	Saint Sorlin d'Arves (73)			Vars – St Marcellin (05)			
	Dim.	J2	J3	Dim.	J1	J2	J3
Taux de charge du réacteur %		42	44		38	38	38
Charge volumique (kg de N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> appliquée/m <sup>3</sup> de réacteur.j)							
Part appliquée	0,79	0,33	0,35	0,37	0,14	0,14	0,14
Part éliminée	0,51	0,2*	0,2*	0,21	0,13	0,13	0,13
Rendement	65 %	59 %	58 %	54 %	94 %	95 %	96%
Charge surfacique (g de N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> / m <sup>2</sup> de surface de matériau .j)							
Part appliquée	1,3	0,55	0,57	0,56	0,214	0,212	0,211
Part éliminée	0,84	0,32*	0,33*	0,3 g	0,205	0,205	0,205
Temps de séjour dans le réacteur ( /volume total du réacteur)							
	2 h 25	5 h	5 h 04	5 h 20	10 h 55	10 h 55	10 h 35

\* : substrat limitant et carence en bicarbonates

Les principaux facteurs influençant les performances du traitement de l'azote sont regroupés ci-dessous :

	Saint Sorlin d'Arves (73)			Vars – St Marcellin (05)			
	Dim.	J2	J3	Dim.	J1	J2	J3
Temps de passage (volume utile d'eau)							
	1 h 15	2 h 26	2 h 29	2 h 25	4 h 55	4 h 55	4 h 47
Température du réacteur en °C							
	Eaux brutes > 11°C Dans le réacteur : NC	9,5° – 10°C  13 ° - 13,5°C		> 8°C		9,8°C  12,6°C	
Concentration moyenne en Oxygène dans le réacteur mg d'O2/l							
	4	6 à 8		2 à 4		6 à 7	
Concentration en DBO <sub>5</sub> Entrée réacteur biologique en mg/l							
	137	98	154	149	257	218	/
Concentration en N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> Entrée réacteur biologique en mg/l							
	78	71	71	82	62,1	63,3	61,1
Ratio DBO <sub>5</sub> /N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> Entrée du réacteur biologique							
	1,76	1,38	2,17	1,82	4,14	3,44	/
Concentration en HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> en mg/l							
	/	Teneur insuffisante lors des pointes		/	755	670	620
Taux de charge sur l'ouvrage en %							
	/	42	44	/	38	38	38
Paramètres physico chimiques : dans le réacteur							
pH	/			/	7,1	7,4	7,25
Conductivité	/			/	1195	1240	1215

On note une augmentation de température de l'ordre de 3° C entre les effluents d'entrée station et celles mesurées dans le réacteur biologique.

Pour le 1<sup>er</sup> site, lors des pointes de charge en azote ammoniacale, les teneurs en bicarbonates nécessaire à la nitrification étaient insuffisantes pour atteindre les objectifs demandés.

Pour le second site, la concentration en matière carbonée appliquée sur le réacteur biologique est

élevée mais l'analyse plus fine donne une DBO<sub>5</sub> soluble de l'ordre de 125 mg/l, soit un ratio de 2, valeur acceptable. La DBO<sub>5</sub> particulaire est liée à l'absence de réactifs chimique sur l'étage primaire.

Pour les deux sites, les teneurs en O<sub>2</sub> sont élevées.

### ⇒ Synthèse pour le traitement de l'azote avec du Biochip

Taux de remplissage avec du biochip	Température dans le réacteur	Charge surfacique éliminée
51 % (St Sorlin d'Arves) 55% (Vars)	12,5°C 13°C	De 0,2 à 0,35 g de N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> éliminée / m <sup>2</sup> de surface utile. j (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 <sub>4</sub> <sup>+</sup> éliminée / m <sup>2</sup> de surface utile.j

31

**A 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<sub>4</sub><sup>+</sup> éliminée/ m<sup>2</sup> de surface de matériau. j pour un rendement > à 80 % associé à une teneur en N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> en sortie < à 15 mg/L. Il est possible que les charges éliminées soient sous estimées car les valeurs ont été obtenues en présence de substrats limitants (Source ammoniacale et bicarbonates).**

### B. ÉTAPE CLARIFICATION

La filière biologique est dimensionnée pour traiter le carbone et l'azote. Pour le traitement de l'azote, on note uniquement une transformation des composés azotés réduits en nitrates (nitrification seule recherchée) ce qui explique le choix des deux technologies retenues.

L'utilisation de technologies plus classiques (type clarificateur secondaire) aurait nécessité une dénitrification préalable sur le biologique, ce qui auraient augmenté l'emprise au sol de la filière et

le choix d'un clarificateur est difficilement compatible avec la recherche d'une filière compacte. De plus, l'utilisation d'un clarificateur pour le procédé MBBR est aussi peu adaptée en raison de petits floccs formés plus difficilement décantables.

Les technologies retenues par le constructeur pour accepter des concentrations élevées en nitrates sans risque de dénitrification sauvage, et donc de remontées de boue, sont :

	Saint Sorlin d'Arves (73)	Vars – St Marcellin (05)
Type d'ouvrage	Flottateur	Décantation lamellaire
Réactifs préalables	indispensables	
Type de réactifs	Polymère	Sel métallique (déphosphatation recherchée) Polymère
Principe retenu pour éviter la dénitrification	Milieu aéré en raison de la flottation par pressurisation (saturé en air)	Temps de séjour de l'eau réduit, d'où une durée limitée pour une dénitrification sauvage.

#### Remarque

Le procédé de filtration sur toile (technique de tamisage tertiaire) aurait aussi pu être retenu dans ce contexte : compacité recherchée, flux de nitrates élevé, références à l'étranger.

L'apport de réactifs en sortie de la filière MBBR est fortement conseillé, voir indispensable, car les floccs formés sont de petites tailles pour ce type de cultures fixées (charges élevées), et liés à leur détachement constant de la biomasse excédentaire, fonction aussi de la puissance d'agitation. De plus, en l'absence de recirculation, les concentrations en MES sont faibles et fonction des concentrations en DBO<sub>5</sub> et en MES des eaux à l'entrée du réacteur biologique.

En effet, la concentration des boues en sortie du réacteur biologique, qui correspondent à l'élimination des boues produites (ou boues en excès), est liée à la concentration en DBO<sub>5</sub> et en MES de l'effluent à traiter dans le réacteur d'où une production spécifique de boue du réacteur

biologique (kg de MES / kg de DBO<sub>5</sub> éliminée) différente selon les installations fonction de la typologie des effluents à traiter et du temps de séjour de la boue.

Les résultats obtenus sur les MES sont les suivants :

#### Pour la partie flottation

Comme toute filière ou procédé, les résultats dépendent des paramètres de fonctionnement (comparé au dimensionnement) et du degré d'optimisation de l'ouvrage.

Le choix de la flottation a été expliqué précédemment. Cet ouvrage permet également de concentrer la boue.

L'appareil est un flottateur de marque KWI - modèle Koreko, de type lamellaire profilé en U dont les caractéristiques principales sont les suivantes :

	Dimensionnement	Fonctionnement
MES d'entrée	40 à 300 mg/l	De 75 à 110 mg/l
Charge hydraulique en pointe (avec la recirculation des eaux blanches)	22 m/h (26 m/h)	15 m/h (19 m/h)
Charge hydraulique moyenne	12 m/h	6 m/h
Taux de traitement du polymère	0,5 à 1,5 g de polymère /m <sup>3</sup> d'eau traitée	De 2,5 à 3,1 g de polymère exprimé en MS/ m <sup>3</sup> d'eau traitée
MES de sortie	< à 31 mg MES/l Constructeur < à 20 mg MES/l	De 20 à 35 mg MES /l
Concentration des boues flottées	35 g MES / l	15 g MES / l

Le débit de recirculation des eaux blanches est fixe et constant sur ce type d'appareil. Le polymère est apporté en ligne légèrement à l'amont de son alimentation. Une seconde option est possible avec l'injection dans une bache de floculation agitée située en sortie des R3F

A l'échelle de l'heure, on observe l'impact de l'hydraulique sur l'ouvrage :

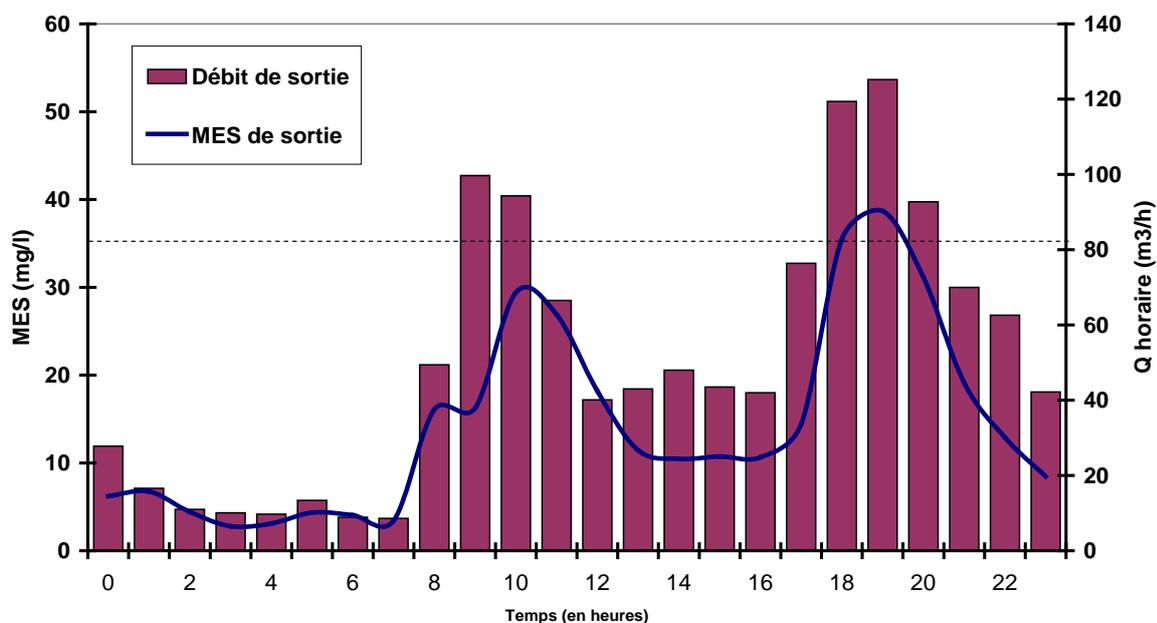


Figure 7 : [MES] sortie flottateur et débit traité sur 24 heures de mesures.

Les résultats obtenus ne sont pas satisfaisants et sont liés à un manque d'optimisation de l'ouvrage avant nos mesures (doses de réactifs, débit de pressurisation, débit d'air injecté et sa pression, raclage...). Après optimisation de cet ouvrage, de meilleurs résultats (inférieur à 30 mg de MES/l) ont été obtenus sur le site.

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 polymères se situant entre 2 et 4 g de polymères exprimés en MS/ m<sup>3</sup> 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 (pompages à éviter)

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

### Pour la partie décantation

Le choix de la décantation lamellaire avec réactifs a été motivé pour plusieurs raisons :

- traitement du phosphore demandé, d'où l'ajout d'un sel métallique à l'amont immédiat du décanteur lamellaire.
- Procédé compact en cohérence avec le choix du procédé MBBR.
- Temps de séjour hydraulique court, qui permet de limiter la dénitrification endogène.

- Remontée de floccs par dénitrification limitée en raison du lestage du flocc par l'ajout de réactifs chimiques.

Les caractéristiques de l'ouvrage retenu sont les suivantes : Décanteur lamellaire avec

épaisseur équipé d'une herse et de 2 baches à l'amont pour la coagulation et la floculation.

	Dimensionnement	Fonctionnement
Coagulation - Floculation		
Taux de traitement du coagulant (FeCl <sub>3</sub> )	20 g / m <sup>3</sup> d'eau à traiter	87 g / m <sup>3</sup> d'eau à traiter
Taux de traitement du polymère	/	3,1 g / m <sup>3</sup> d'eau à traiter
Décantation		
Vitesse de Hazen ( / au STP)	0,56 m/h	0,25 m/h
MES de sortie	< 35 mg/l	< 14 mg/l
Concentration des boues extraites	10 g/l	10,5 g/l

Les résultats obtenus sont satisfaisants mais le choix de cet ouvrage dans cette configuration peut être problématique sans exploitation soutenue.

Cette exploitation nécessite un suivi régulier des réglages des extractions de boues pour limiter le temps de séjour de la boue dans l'ouvrage et éviter ainsi une dénitrification endogène. Ces extractions fréquentes ont des incidences sur la concentration des boues extraites avec un

moindre épaissement de la boue (10,5 g MES/l mesuré).

Cette difficulté de gestion de la dénitrification est aussi amplifiée par les variations de charges importantes pour cette collectivité touristique, en particulier en période de basse saison où les concentrations en nitrates sont élevées, associées à des temps de séjour dans le décanteur secondaire plus élevés.

Dans ce contexte, les technologies par flottation ou par filtration sur toile auraient aussi pu être préconisées.