



1. CAPACITES D'AERATION.

Les besoins en oxygène (dimensionnement des surpresseurs) doivent répondre à un double objectif :

- l'apport d'air process nécessaire au traitement (carbone et azote : nitrification),
- l'air nécessaire à l'agitation dans le cas où la fluidisation des biomédias est assurée par l'apport d'air.

Les calculs des besoins en oxygène pour l'air process sont classiques et fonction des flux à éliminer en DBO_5 , en azote à nitrifier et de la part liée à la respiration endogène de la biomasse fixée.

A partir des besoins en air process pour le traitement, la grande difficulté est de ramener les besoins aux conditions standards par l'application d'un coefficient appelé CTG (coefficient de transfert global) qui tient compte de différents paramètres dont le passage du transfert d'oxygène (Kla) entre les boues et l'eau claire, les consignes de concentrations d' O_2 dissous retenues dans le réacteur.

Actuellement, on trouve peu de données sur le sujet en raison des difficultés de mener des essais en eau claire avec le support en mouvement. En effet, ces essais sont difficiles à réaliser en eau claire (et donc en l'absence de biomasse) car le support sans biomasse flotte et sa fluidisation s'avère être impossible. La mise en mouvement

du support améliore le transfert par des temps de trajet des bulles plus long dans le réacteur mais aussi par un éventuel fractionnement des bulles d'air injecté par les biomédias.

Il serait tout de même intéressant d'effectuer des essais en eau claire sans support puis des essais en boue. Le seul inconvénient de cette démarche est l'absence de donnée sur l'impact du support en mouvement sur le transfert en eau claire.

A ce stade des connaissances, le CTG retenu est de l'ordre de 0,35 à 0,40 et les rendements de transfert en eau claire des équipements d'apports d'air (conduite percée) et avec support sont estimés à 4,5 % par mètre d'immersion.

Un réseau de rampes d'air situé sur le radier du réacteur assure l'ensemble des besoins en air : air process et air pour le brassage. L'asservissement de l'air process est fonction d'une consigne de concentration en oxygène, cependant une quantité minimale d'air doit être maintenue pour assurer le brassage du matériau.

Pour l'agitation, les vitesses d'air nécessaire à la fluidisation sont exprimées en m/h (ou $m^3/m^2.h$) d'où l'intérêt d'avoir des réacteurs profonds (vitesse d'air plus élevée, transfert en oxygène plus important). Cette vitesse dépend du type de support et de son degré d'ensemencement. Les

ordres de grandeur se situent entre 10 m/h et 20 m/h en fonction du type de support.

Ce débit d'air est relativement élevé et impacte fortement la consommation énergétique de l'installation. Ce poste doit à court terme être optimisé de plusieurs façons :

- retenir un matériau plus facile à fluidiser,
- étudier la résistance et la fluidisation des supports par une agitation mécanique,
- proposer des configurations différentes pour les installations confrontées à des variations de charge. L'objectif est d'obtenir une

demande en air process toujours supérieure à l'air nécessaire à la fluidisation.

Les puissances spécifiques de brassage (puissance des surpresseurs ramenée au volume des réacteurs biologiques) sont élevées, et sont de l'ordre de 150 W/m³. Cependant, pour toute comparaison avec d'autres filières, il faut bien intégrer la notion de charge volumique, le réacteur biologique R3F étant 3 fois plus compact qu'une boue activée, soit une valeur de comparaison de 50 W/m³.

Puissances spécifiques de brassage	
Saint Sorlin d'Arves (73)	Vars – St Marcellin (05)
179 W / m ³	144 W / m ³

2. PRODUCTION DE BOUE

36

Les productions de boues obtenues sur ce type de réacteur se rapprochent d'une filière de type intensive comme la biofiltration (culture fixée). Les boues produites sont relativement organiques avec un taux de MVS supérieur à 80%, ce qui

révèle une très faible part d'auto oxydation de la boue. Ce pourcentage est obtenu sur des installations équipées d'un étage primaire ce qui explique en partie le taux de MVS élevé.

	Saint Sorlin d'Arves (73)	Vars – St Marcellin (05)
% de MVS des boues biologiques	85 %	82 %

La production spécifique de boues au sein du réacteur biologique est élevée et de l'ordre de :

0,9 kg de MES/ kg de DBO₅ éliminée, et confirme la faible part d'auto-oxydation.

Sur l'ensemble de la station, les productions de boues sont importantes, **de l'ordre de 1,45 kg de MES / kg de DBO₅ éliminée**, et s'expliquent par :

- la présence d'un étage primaire avec apport de réactifs chimiques plus ou moins optimisé,

- la présence d'un ouvrage de séparation physique en sortie de l'étage biologique avec également ajout de réactifs et,
- une fraction particulière des eaux à traiter élevée (ratio MES/DBO₅) qui s'explique par la longueur du réseau faible et sa pente importante limitant les dépôts.

Compte tenu de la technologie et de la configuration (2 étages en série : 1aire et 2aire), la production de boue sera bien supérieure à une filière boue activée classique.

3. CONSOMMATION ENERGETIQUE

Les résultats obtenus sur les deux sites étudiés ont révélé des consommations énergétiques ramenées au flux de DBO₅ éliminée très

importants. Les valeurs obtenues sont les suivantes :

	Saint Sorlin d'Arves (73)	Vars – St Marcellin (05)
Consommation spécifique énergétique (en KW/Kg de DBO ₅ éliminée)	8,6	8,9

Ces valeurs, du même ordre de grandeur pour les deux sites, sont très élevées et s'expliquent en partie par :

- Des mesures effectuées en période hivernale, qui prennent en compte le poste chauffage des locaux (de l'ordre de 7 % du total),
- des installations qui fonctionnaient à 50 % de leur charge nominale,

- et la présence de certains postes non encore totalement optimisés, en particulier le poste aération du réacteur biologique (par exemple, pour un site, un des surpresseurs a fonctionné à son débit d'air maximum).

A titre d'exemple, la répartition des consommations au niveau de l'installation est la suivante :

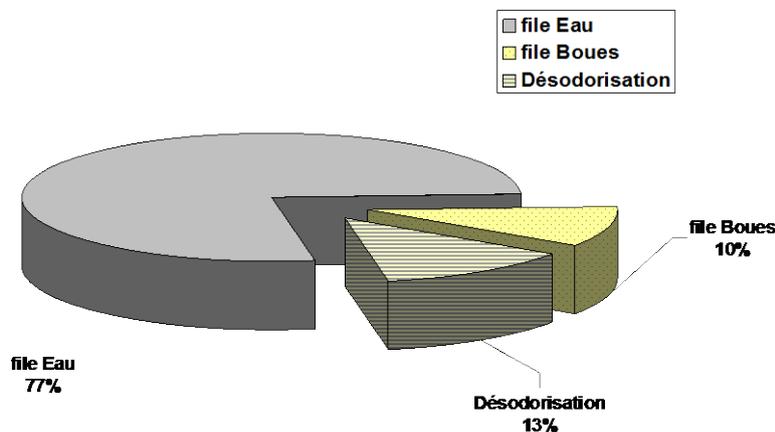


Figure 8 : Répartition des consommations au niveau de l'installation.

Pour la file eau, le poste traitement biologique représente la part majoritaire et se situe entre 73 % et 88 % de la consommation énergétique de la file eau selon les sites. Compte tenu de cette

consommation prépondérante, son optimisation s'avère évidemment indispensable.

Une simulation des consommations électriques a été effectuée pour une situation future, les installations à leur charge nominale. Les résultats montrent que l'on pourrait atteindre à l'avenir des

consommations spécifiques énergétiques de l'ordre 3,5 kWh /kg de DBO₅ éliminée. Ce chiffre devra bien entendu être vérifié car de nombreuses hypothèses ont été retenues, en particulier des apports d'oxygène suffisants.

L'optimisation du poste aération nécessite la mise en place de plusieurs surpresseurs, avec si possible un appareil par réacteur ou alors une

inter-connection entre eux. Ils doivent être équipés d'un variateur de vitesse pour adapter au plus près l'apport d'O₂ à la charge à traiter.

Les puissances énergétiques nécessaires à la fluidisation dépendent du type de matériau (sa forme) et une fluidisation par agitation mécanique devra être aussi étudiée.

4. COMPACTITE

La compacité de la filière MBBR est reconnue et on note un gain d'un facteur proche de 3 sur le réacteur biologique par rapport à une boue activée (ratio des charges volumiques entre le réacteur biologique du procédé MBBR et celui d'une boue activée dimensionnée pour répondre aux mêmes objectifs de traitement).

La comparaison d'une filière MBBR par rapport à d'autres filières n'est pas aisée car les chiffres

annoncés en terme de gain peuvent être très différents suivant les hypothèses retenues, en particulier pour la comparaison avec les filières pour lesquelles un objectif de compacité a été recherché.

Des hypothèses de pourcentage d'emprise au sol pour les différentes étapes de traitement sont retenues et sont les suivantes :

	Boue activée classique	R3F
Filière retenue	Prétraitements + réacteur biologique + clarification	
Prétraitements	identique	
Traitement I ^{aire}	identique	
Traitement II ^{aire} (profondeur des bassins identique)	Nit. / Dénit. Volume 3 fois plus élevé : 375 kg de DBO ₅ 1250 m ³ et 210 m ²	Gain d'un facteur 3 mais pas de Dénit. 375 kg de DBO ₅ 414 m ³ et 69 m ²
Clarificateur (Flottateur comparé aux membranes ou clarificateur sur les 2 filières)	identique	
% emprise au sol		Prétraitements : 9-10% Traitement I ^{aire} : 13% Traitement I ^{aire} : 24% Flottateur et annexes : 16% Filière boues : 15% Désodorisation : 20%
Bilan	50% de surface en plus pour le procédé boue activée	

A partir de ces hypothèses, on note qu'une boue activée classique nécessite 50% d'emprise au sol en plus. Ou alors, le choix du procédé MBBR (mais sans dénitrification) permet

une réduction de l'emprise au sol de 30 à 35 %. Rappelons que ces chiffres dépendent fortement des hypothèses retenues.

ADAPTABILITE DE LA FILIERE MBBR ET DE SA CONFIGURATION POUR REPENDRE A LA PROBLEMATIQUE VARIATION DE CHARGES

40

Rappelons qu'une filière MBBR peut être dimensionnée pour traiter le carbone et l'azote. Dans le cas du traitement de l'azote, et pour les deux installations étudiées dans le cadre de son adaptabilité à traiter une variation de charge, seule la nitrification était demandée en raison de la sensibilité du milieu récepteur à ce paramètre.

En fonction des niveaux de rejets demandés (forte concentration en $N-NO_3^-$ rejetée), le constructeur a retenu pour la séparation des floccs biologiques formés de l'effluent traité le procédé de flottation pour un site et une décantation lamellaire avec réactifs chimiques (lestage du floc) pour le second.

A titre d'exemple, pour étudier l'adaptabilité de la filière à la problématique de variation de charges, la station d'épuration de la collectivité de St Sorlin d'Arves a été dimensionnée pour traiter un flux en DBO_5 équivalent à 17 000 EH avec une variation de charge d'un facteur 30, ce qui implique une population permanente en basse saison de l'ordre de 570 EH. La pointe de charge de cette collectivité se situe en période hivernale en raison de son activité touristique liée aux sports d'hiver (station de ski).

La configuration retenue par le constructeur est la suivante :

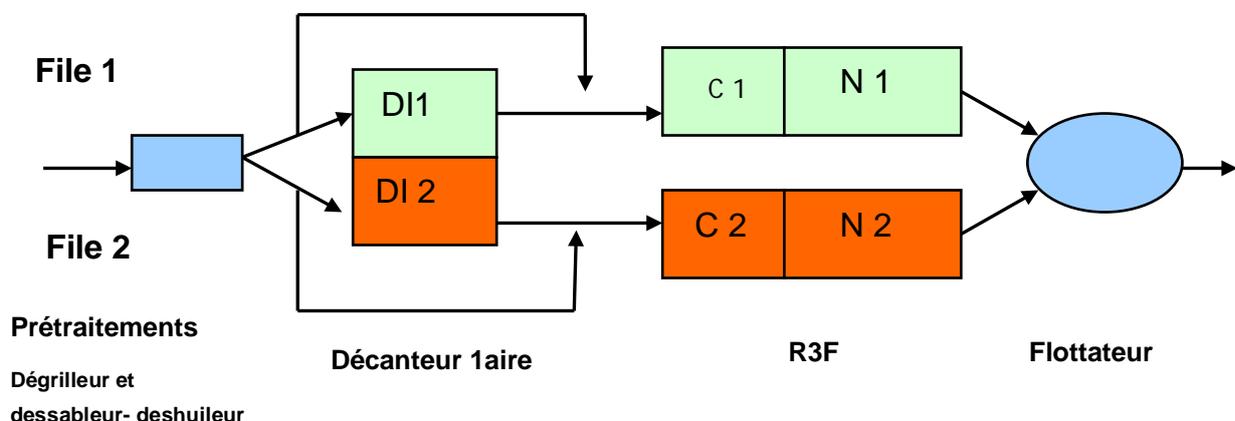


Figure 9 : Schéma de principe de la station de St Sorlin d'arves.

L'argumentaire du constructeur pour le choix de cette configuration est le suivant :

➤ **Implantation d'un traitement primaire avec la possibilité d'apport de réactifs.**

Ce choix est motivé pour les raisons suivantes : En basse saison, possibilité de by passer complètement cet ouvrage. Sa mise en route est programmée au moment de la montée en charge de l'installation avec dans un premier temps la mise en eau du primaire seul, puis l'injection des réactifs chimiques en fonction de la charge à traiter entrant sur le biologique. L'objectif est d'alimenter le primaire avant d'enclencher une surcharge sur le biologique.

➤ **Mise en place d'un procédé de type culture fixée en deux files parallèles.**

- la culture fixée présente l'avantage d'avoir une biomasse relativement stable dans le temps, mobilisable plus rapidement en fonction du traitement recherché (carbone ou azote), mais dont l'activité est fonction de l'historique de son alimentation (la charge appliquée au préalable fixe la quantité de biomasse présente dans le réacteur). Cette biomasse fixée est aussi peu sensible aux variations de charge hydraulique.

- le choix de deux files parallèles est essentiellement motivé par un souci économique : en basse saison, alimentation d'une seule file et arrêt total de la seconde file.

- le choix de 2 étages spécifiques résulte du procédé retenu qui permet :

- la mise en place de matériau différent selon les traitements recherchés (non retenu pour les sites étudiés),
- une meilleure maîtrise des charges appliquées en intervenant sur le volume du réacteur biologique et sur le taux de remplissage du matériau.
- et de limiter les compétitions entre les populations autotrophes (population responsable de la nitrification) et hétérotrophes (responsable du traitement du carbone).

Le mode de gestion recommandé le plus souvent par les constructeurs pour répondre à la variation de charges importante en période hivernale est présenté ci dessous. Ces recommandations doivent s'appliquer avant la période de charge la plus critique (faibles températures des effluents,

variation de charge en peu de temps et très importante) pour respecter les niveaux de rejet lors de cette pointe. En période estivale, la variation de charge observée est moins problématique en raison des températures plus élevées (d'où un taux de croissance de la biomasse nécessaire au traitement plus important) et d'une augmentation de la charge journalière plus progressive (étalement de l'arrivée des touristes).

Les recommandations du mode de gestion de l'installation pour les exploitants fournies par les constructeurs sont les suivantes :

En Basse saison:

- Arrêt total d'une file biologique MBBR à la fin de la période estivale suite à la chute de la charge entrante.
- Arrêt de l'apport des réactifs physico-chimiques sur l'étage primaire et by pass de cet ouvrage.

A l'approche de la Haute saison :

Plusieurs étapes sont définies:

- Deux semaines avant le début de la montée en charge, soit mi-novembre, les 2 files biologiques sont alimentées avec une source azotée de type ammoniacal (alcali) en tête de la filière R3F pour favoriser le développement de la population Autotrophe, puis arrêt de cet ajout après 2 semaines (soit début décembre).
- Ré-alimentation de l'étage primaire (mi-décembre) puis dans un second temps ajout des réactifs chimiques.

A partir de l'expérience acquise par l'Irstea sur le traitement des variations de charges importantes par les procédés boue activée et biofiltration (Synthèse sur le sujet dans le document technique FNDAE n° 34) associé à des mesures poussées sur les deux installations MBBR étudiées, en particulier sur la réponse du système pour différents modes de gestion afin de répondre à la variation de charge importante et respecter les niveaux de rejet demandés, certaines recommandations sont arrêtées sur la configuration de la filière type pour l'avenir ainsi que sur un mode de gestion pour traiter des variations de charge importantes.

Ils sont présentés ci dessous :

- Pré-traitements :

Leur fonctionnement est indispensable toute l'année malgré des variations de charge importantes en particulier sur l'hydraulique. Les faibles débits vont entraîner des vitesses de fonctionnement sur le dessableur proche d'un décanteur primaire ce qui va conduire à un piégeage important de la pollution particulaire. Ce point devra être bien identifié lors de l'élaboration du projet et des propositions devront être apportées.

Parmi les solutions envisageables, on note :

- Mise en place de 2 files de prétraitement en parallèle, avec arrêt d'une file en basse saison ou,
- lavage des sables extraits afin de réintroduire la pollution particulaire piégée en sortie pré-traitement ou,
- Mise en place d'un tamisage des effluents uniquement pendant la période basse saison.

- Étage primaire avec l'option réactifs chimiques:

Comme nous l'avons déjà évoqué, cet étage est intéressant en terme de compacité de la filière et sur la nature de la boue obtenue (taux de MVS élevé pour une éventuelle digestion sur la filière boue).

Sur le plan de la gestion de la variation de charge, on note une efficacité importante sur l'abattement de la matière organique fonction de l'injection ou non des réactifs mais aucun effet sur le flux azoté (abattement négligeable) qui est le paramètre critique à gérer. Ainsi, pour le traitement du carbone, les taux de croissance de la biomasse hétérotrophe sont élevés et l'implantation d'un traitement primaire sera nécessaire uniquement pour les communes confrontées à de très fortes variations de charge.

Dans tous les cas, lorsque cet ouvrage sera retenu, il conviendra de le by passer ou de l'utiliser sans réactif chimique en période de basse saison afin de limiter la production de boue et d'apporter le maximum de charge sur la file biologique aval afin de favoriser le développement maximal de la biomasse.

L'injection de réactifs chimiques permet de doubler les performances sur la DCO et la DBO₅ mais l'acidité des réactifs les plus courants entraîne une consommation de TAC (carbonates) préjudiciable au traitement de l'azote, en particulier pour le stade nitrification dont ce composé est indispensable au traitement (besoins de 8,5 mg de HCO₃⁻ pour nitrifier 1mg d'azote ammoniacal) et souvent insuffisant en basse saison dans le cas où une source azotée est ajoutée.

- Étage biologique :

Deux files parallèles de 2 étages sont à retenir obligatoirement.

En dehors de l'aspect coûts d'exploitation, la présence de 2 files parallèles permet l'obtention d'une quantité de biomasse deux fois plus importante en basse saison à condition que chaque file soit alimentée un jour sur deux et de façon automatisée dès la fin de la période estivale afin de maintenir une quantité de biomasse la plus élevée possible. En effet, nos différents travaux ont montré que l'arrêt d'une file sur plusieurs mois ne permettait pas un redémarrage rapide du filtre, en particulier pour le traitement de l'azote.

Lors de l'alternance, la file non alimentée devra être maintenue en milieu aérobie ou anoxie. Cela nécessite d'aérer le milieu quelques minutes toutes les 2 à 3 heures. On veillera à ne pas dépasser plus de 2 heures sans oxygène dissous. La durée d'aération doit être suffisante pour une remise en suspension du support. Un autre paramètre sur le suivi du réacteur non alimenté est le ph qui doit être maintenu au delà d'un ph de 7

L'alternance de l'alimentation des 2 files permet d'installer une quantité de biomasse deux fois plus élevée pour un même flux à traiter par rapport au fonctionnement sur une seule file. Cette alternance permet surtout une réponse plus rapide, voir immédiate, de la biomasse lors de la ré-alimentation des 2 files en parallèle, à condition que la charge appliquée soit légèrement supérieure au degré d'ensemencement de la biomasse. Pour la biomasse autotrophe, la priorité est de toujours maintenir une biomasse en place car l'implantation de celle-ci sur un réacteur à de très basses températures est difficile et nécessite des temps très élevés fonction de la température du réacteur.

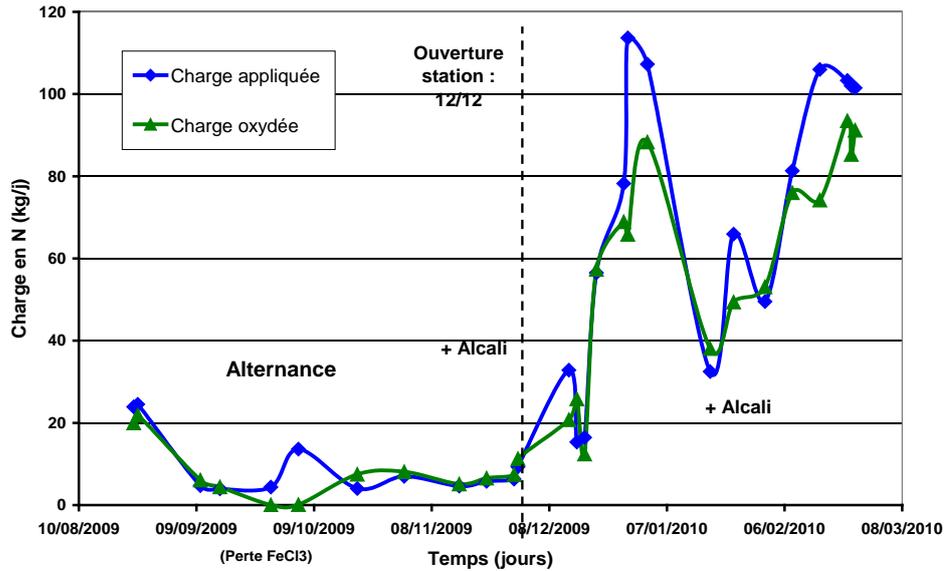


Figure 10 : Evolution durant 5 mois des charges appliquées / oxydées sur le R3F avec gestion de l'alimentation par alternance en BS et un apport d'Alcali et de Bicarbonate lors des 2 augmentations de charge.

Sur les sites où le flux appliqué en haute saison est supérieur à la capacité de la biomasse installée sur les 2 files, il conviendra avant la montée en charge d'injecter une source azotée pour augmenter la capacité de nitrification, donc la quantité de biomasse autotrophe présente dans le réacteur.

Une note détaillée précisant la démarche de l'apport de cette source azotée et une feuille de calcul (format excel) est à la disposition des exploitants sur le site du Gis biostep (<https://gisbiostep.cemagref.fr/les-publications-collectives-1>).

Dans le cas où l'ajout d'une source azotée est retenu, son injection doit se faire dans le réacteur dédié au traitement de l'azote, ce qui signifie dans le second réacteur.

De plus, lorsque les quantités d'azote externes injectées sont élevées, cet apport doit être systématiquement complété par l'ajout parallèle d'une source de carbone minéral (bicarbonates) car l'effluent d'entrée station dispose souvent d'un flux suffisant pour l'azote de l'effluent d'entrée mais insuffisant lors d'une complémentation externe en azote ammoniacal).

En basse saison, la charge en entrée station est très faible et il est fortement conseillé d'alimenter directement le deuxième réacteur biologique

(traitement de l'azote) afin de développer et de maintenir en place la biomasse autotrophe.

En effet, lors de nos études, l'alimentation du premier réacteur a révélé une nitrification importante dans ce premier étage compte tenu des très faibles charges appliquées, valeur où une nitrification est possible (peu de compétition entre les biomasses autotrophes et hétérotrophes) ce qui révèle l'installation dans le réacteur carbone d'une biomasse autotrophe. Au moment où la charge augmente, la population hétérotrophe se développe au détriment de la biomasse autotrophe en place et son implantation dans le deuxième réacteur ne pourra s'opérer qu'au moment où l'azote ammoniacal disponible à la nitrification est présent.



Le procédé MBBR s'avère être une technologie intéressante pour son créneau d'application : compacité et gestion de charges variables par la présence de plusieurs files et d'une biomasse de type culture fixée.

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

L'obtention du respect des niveaux de rejets de la loi sur l'eau (avec respect des valeurs moyennes journalières) et pour une température des eaux dans le réacteur de 12°C, nécessite des charges surfaciques à appliquer de l'ordre de 3,5 à 4 g de DBO₅ sur le réacteur C /m² de surface utile de matériau et par jour.

Dans le cas du traitement de l'azote et plus particulièrement pour l'étape nitrification, un rejet inférieur à 10 mg de N-NH₄⁺/l en moyenne journalière nécessite de retenir une charge

surfacique de l'ordre de 0,4 g de N-NH₄⁺ appliqué sur le réacteur N/m² de surface utile et pour une température de 12°C dans le réacteur biologique dédié au traitement de l'azote.

L'obtention de ses performances nécessite l'absence de facteurs limitants: TAC, Oxygène, pH, ...

Les 2 sites étudiés ne comportaient pas de réacteur pour la Dénitrification.

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

Par contre, au niveau dépense énergétique, cette filière consomme près de 50 % de plus qu'une filière boue activée classique. Des pistes d'améliorations sont décrites dans ce document.

BIBLIOGRAPHIE

- Document technique FNDAE n° 34 : Le traitement du carbone et de l'azote pour des stations d'épuration de type boue activée confrontées à des fortes variations de charge et à des basses températures
- Site :Gis biostep - Fiche technique : Augmentation de la quantité de biomasse autotrophe par ajout d'alcali.
- Fevre J. Synthèse sur les cultures fixées en mouvement (MBBR), INSA Lyon, juillet 2007. 26p.

ANNEXE : LISTE DE REFERENCES

Stations d'épuration de collectivité équipées du procédé MBBR : Etat du parc Français

STEP	Capacité de traitement en EH	Filière	Equipement après MBBR	Mise en eau
VINCI				
Soustons Port d'Albret (40)	100 000	R3F en prétraitement (C) + BA		2007
Corbeil-Essonnes (91)	100 000	R3F (DN + C+ N+DN)	flottateur	2008
Saint Sorlin d'Arves (73)	17 000	2 files de R3F (C+Nit)	1 flottateur	2008
CC3F Communauté de communes des 3 frontières (68)	120 000	2 files de R3F (DN+C+N+Post DN)	3 flottateurs	2008
Molines en Queyras (05)	5 000	2 files de R3F (C)	1 flottateur	2009
Ecoparc 2 Heudebouville (27)	15 000	R3F en prétraitement + BA		2008
Vars - St Marcellin (05)	22 000 (réhabilitation)	2 files de R3F (C+N)	1 décanteur. Lamellaire	2009
Thourotte (60)	12 000	R3F (DN+C+N)	flottateur	2009
Brazza Bordeaux (33)	50 000	R3F		2009
Queven (56)	30 000 (réhabilitation)	R3F en prétraitement + BA		2009
Montreuil Bellay (49)	12 500	?		2009
Villard de Lans (38)	45 000	2 files de R3F (C+N)	2 flottateurs	2010
Bellentre (73)	27 600	2 files de R3F (C+C+N)	1 flottateur	2010
Meursault (21)	22 000	R3F en prétraitement (C) + BA		2010

Ladoix Serrigny (21))	16 000	R3F en prétraitement (C) + BA		2010
Chateaufort le rouge (13)	2 600	Carbone	Clarificateur standard	2010
Albiez Montrond (73)	600 / 5000	Basse saison disque biologique et haute saison R3F (C+N)		2012
Ajaccio (2A)	40 000 60 000	R3F (C)	Flottateur	2012
Abries (05)		En projet		

STEP	Capacité de traitement en EH	Filière	Equipement après MBBR	Mise en eau
OTV (Véolia) MSE				
Menton (06)	80 000	MBBR (C)	Actiflo	2010
Vallouise (05)	15 000	+ 2 files de MBBR (C) + bactério	2 flottateurs + UV	2010
Bormes les Mimosas (83)	110 000	MBBR (C) + bactério	Actiflo + Tamis + UV	2011
Agnières en Dévoluy (05)	7 000	2 files de MBBR (C+N)	Flottateur	2012
Roquebrune-Cap- Martin (06)	32 000	MBBR (C)	Actiflo	2012
Puget-Théniers (06)	5 500	MBBR (C)	Tamis hydrotech	2010
Valdeblore (06)	4 000	MBBR (C)	?	2011
Lille (59)	620 000	HYBAS	Actiflo / Multiflo	2013

