

Partenariat 2012 – *Domaine : Ecotechnologie et Pollution*
Action 50 : Performance des systèmes d'assainissement collectif
Sous-action 3 : Conception et exploitation des stations des petites et moyennes collectivités (EPNAC)

Synthèse sur le procédé Azoé[®] (Société SCIRPE)



Rapport final

Stéphanie PROST-BOUCLE (Irstea)
Pascal MOLLE (Irstea)

Décembre 2013

Contexte de programmation et de réalisation

Dans le cadre du groupe EPNAC (www.epnac.irstea.fr), visant à mutualiser les retours d'expériences sur les procédés nouveaux d'assainissement, le procédé Azoé de la société Scirpe a été identifié comme suffisamment développé pour pouvoir acquérir un retour d'expérience sur son fonctionnement. Un atelier a donc été créé en 2010 pour fournir un retour sur ce procédé, composé de plusieurs personnes membres du groupe EPNAC.

Le travail a consisté à :

- Discuter avec le constructeur des bases de dimensionnement de leur procédé et du retour d'expérience constructeur,
- Sélectionner une liste de stations à charge convenable pour réaliser un suivi,
- Rédiger un protocole commun de suivi expérimental,
- Réaliser des bilans 24 h sur les stations sélectionnées (SATESE et Irstea),
- Exploiter et synthétiser les données récoltées,
- Discuter des résultats avec le constructeur avant diffusion.

Ce document est la synthèse des suivis réalisés pendant les 2 ans d'étude. Il présente un premier retour d'expérience, sur une filière encore relativement jeune, et sera donc amené à évoluer dans le temps suivant les connaissances ultérieures.

Même si la rédaction de ce document est essentiellement portée par Pascal Molle et Stéphanie Prost-Boucle (Irstea), cette étude a fait l'objet d'une participation des membres de l'atelier EPNAC et de l'ensemble des SATESE : elle n'aurait vu le jour sans la contribution de tous.

Les auteurs

Stéphanie Prost-Boucle

Ingénieure d'Etudes

Email : stephanie.prost-boucle@irstea.fr

Irstea Lyon

Pascal Molle

Ingénieur Traitement des eaux usées

Email : pascal.molle@irstea.fr

Irstea Lyon

Les correspondants

Onema : **Céline Lacour**, Direction de l'Action Scientifique et Technique, celine.lacour@onema.fr

Irstea : **Pascal Molle**, Centre de Lyon, pascal.molle@irstea.fr

Droits d'usage :	<i>Accès libre</i>
Couverture géographique :	<i>National</i>
Niveau géographique :	<i>National</i>
Niveau de lecture :	<i>Professionnels, décideurs</i>
Nature de la ressource :	<i>Rapport final</i>

Liste des personnes membres de l'atelier EPNAC

Nom - Prénom	Organisme
TROUCHE Anne	AE AG
DI MARE Jocelyne	AE AG
LAGARRIGUE Céline	AE RMC
MENET Anthony	SATESE 89
CHARTIER Aurélien	SATESE 06
BONNET Christophe	SATESE 48
ALAPHILIPPE Guy	SATESE 64
FOURNERET Guy	SATESE 63
CONSCIENCE Hélène	SATESE 12
PACOREL Hervé	SATESE 71
JAUFFRED Lucie	SATESE 06
PARMENTIER Nicolas	SATESE 07/26
GERVASI Claudia	Irstea
MOLLE Pascal	Irstea
PROST-BOUCLE Stéphanie	Irstea

**Synthèse sur le procédé Azoé (SCIRPE)
Rapport final**

S. Prost-Boucle – P. Molle

Sommaire

RESUME	6
ABSTRACT	7
CORPS DU DOCUMENT	8
I. DONNEES CONSTRUCTEUR - DIMENSIONNEMENT	8
I.1. Principe général.....	8
I.2. Parc de stations.....	8
I.3. Types de stations Azoé.....	9
I.4. Données de dimensionnement et de fonctionnement	9
II. PROTOCOLE DE TRAITEMENT DES DONNEES	14
III. PERFORMANCES GLOBALES	15
III.1. Rendements	15
III.2. Concentrations.....	17
III.3. Traitement de l'azote	18
III.4. Traitement du phosphore.....	19
IV. PERFORMANCES DU LIT BACTERIEN	22
IV.1. Discussion de la charge appliquée au LB.....	22
IV.2. Performances du LB.....	22
V. PERFORMANCES DES FILTRES PLANTES DE ROSEAUX.....	24
V.1. Performances générales des FPR.....	24
V.2. Charges reçues et traitées sur le 1 ^{er} étage de FPR	25
V.3. Charges reçues et traitées sur le 2 ^{ème} étage de FPR.....	26
V.4. Impact de la saturation des fonds de filtres sur la nitrification et la dénitrification..	27
V.5. Analyse des performances de dénitrification	30
V.6. Rétention des MES.....	33
V.7. Paramètres de gestion	34
V.8. Accumulation des boues	35
VI. CONSOMMATION ENERGETIQUE	36
VII. CONCLUSIONS	37
ANNEXES.....	39

Liste des figures, tableaux, graphiques et photos

Liste des figures

Figure 1 : Schéma de principe de fonctionnement d'une station Azoé	8
--	---

Liste des tableaux

Tableau 1 : Eléments de dimensionnements du LB selon constructeur	10
Tableau 2 : Exemples de dimensionnement et fonctionnement du LB sur 2 stations Azoé.....	11
Tableau 3 : Dimensionnement des FPR aux 1 ^{er} et 2 ^{ème} étages	12
Tableau 4 : Liste des stations pour lesquelles les données ont été étudiées	14
Tableau 5 : Rendements globaux.....	15
Tableau 6 : Concentrations d'entrée et sortie station	17
Tableau 7 : Rendements et concentrations en Pt.....	20
Tableau 8 : Rendements sur le LB	23
Tableau 9 : Concentrations entrée et sortie de LB	23
Tableau 10 : Rendements des FPR	24
Tableau 11 : Concentrations en entrées et sorties des FPR	25
Tableau 12 : Paramètres de dénitrification sur FPR1 sur les stations de Vercia (39), Matour (71) et Bayel (10) ..	31
Tableau 13 : Paramètres de dénitrification sur FPR2 sur les stations de Vercia (39), Matour (71) et Bayel (10) ..	32
Tableau 14 : Consommation énergétique.....	36

Liste des graphiques

Graphique 1 : Dimensionnement du LB au cours du temps en fonction des stations avec arrêté préfectoral sur l'azote (NK et/ou NGL)	10
Graphique 2 : Dimensionnement de chaque étage de FPR en fonction des stations avec arrêté préfectoral sur l'azote (NK et/ou NGL)	12
Graphique 3 : Dimensionnement de chaque étage de FPR en fonction des concentrations requises sur l'azote (limites de rejet).....	13
Graphique 4 : Rendements totaux en fonction du taux de charge organique en entrée station	15
Graphique 5 : Rendement total en NGL pour différents niveaux de saturation des FPR.....	16
Graphique 6 : Rendements totaux en fonction du ratio des taux de charges hydraulique/organique en entrée station.....	17
Graphique 7 : Rendements en NK et NGL pour les stations avec arrêté préfectoral sur l'azote	18
Graphique 8 : Concentrations de sortie en NK et NGL pour les stations avec arrêté préfectoral sur l'azote.....	19
Graphique 9 : Rendements en Pt pour les stations avec arrêté préfectoral sur le phosphore.....	20
Graphique 10 : Concentrations de sortie en Pt pour les stations avec arrêté préfectoral sur le phosphore	20
Graphique 11 : Charges traitées en fonction des charges reçues par le 1 ^{er} étage de FPR (g/m ² /j, sur le filtre en fonctionnement).....	26
Graphique 12 : Evolution du potentiel redox lors des bilans 24h, Vercia (39), oct. 2011	27
Graphique 13 : Evolution du potentiel redox lors des bilans 24h, Vercia (39), sept. 2012	28
Graphique 14 : Teneurs en O ₂ dans les gaz interstitiels à différentes profondeurs au sein des FPR, Vercia (39), octobre 2011.....	28
Graphique 15 : Teneurs en O ₂ dans les gaz interstitiels à différentes profondeurs au sein des FPR, Vercia (39), septembre 2012.....	29
Graphique 16 : Evolution des teneurs en MES en sortie du 1 ^{er} étage (PR1) et en aval du 2 ^{ème} étage (PR2) de FPR lors d'un bilan 24h, Vercia (39), oct. 2011	33
Graphique 17 : Analyse granulométrique des MES en amont et aval du LB (granulomètre laser)	34
Graphique 18 : Consommation énergétique en fonction du ratio des taux de charges hydraulique/organique en entrée station.....	36

Liste des photos

Photo 1 : Lit bactérien, Vercia (39), 2010	9
--	---

Synthèse sur le procédé Azoé (SCIRPE) Rapport final

S. Prost-Boucle – P. Molle

Résumé

Le procédé Azoé® développé par la société Scirpe repose sur un procédé de traitement biologique sur lit bactérien (LB) suivi de 2 étages de filtres plantés de roseaux à écoulement vertical. Il se décline en plusieurs types selon les exigences de rejet en NGL et/ou P : Azoé-N, Azoé-P et Azoé-NP. Etant donnée la jeunesse du procédé (22 stations, depuis 2004), cette synthèse a consisté en l'étude de 29 bilans 24h, dont seulement 6 avec prélèvements intermédiaires, issus de 9 stations. Les faibles quantités de données existantes et taux de charge induisent une importante variabilité des résultats, et les limites du système n'ont donc pas pu être atteintes lors de cette étude.

Les performances d'élimination, au regard des faibles charges reçues, sont excellentes : 89 % en DCO, 96 % en DBO₅, 99 % en MES, 94 % en NK. Sur le LB, les rendements sur les paramètres dissous sont très bons (par exemple 53 % sur la DBO₅, écart-type : 29). Les FPR présentent de très bonnes performances globales, typiques d'une station FPR classique, et assez peu variables. Les performances des FPR sur le NK sont quasiment toujours > 90 %. La nitrification sur le 1^{er} étage de FPR pourrait être améliorée par un meilleur apport en O₂ : mise en place de drains d'aération intermédiaires (si saturation du fond du filtre) et/ou augmentation de la lame d'eau apportée à chaque bâchée (> 2 cm) pourraient contribuer à améliorer l'oxygénation du massif. Sur ces FPR, il semble que le 1^{er} étage traite la grande majorité de la pollution, ce qui pourrait permettre une optimisation du dimensionnement du 2^{ème} étage dans le cadre du traitement de l'azote, voire de remettre en question son utilité en l'absence d'objectif de traitement sur l'azote.

Les niveaux de rejet atteints en sortie se révèlent très bas pour tous les bilans 24h étudiés, et ceux imposés sur l'azote (NK, NGL) sont toujours respectés. Suivant les exigences de rejet en NGL, les FPR sont saturés ou non : pour les stations concernées, les rendements en NGL sont de 92 %. L'étude met en évidence les taux de saturation des FPR de 65/65 et 50/100 (% de saturation FPR1/FPR2), garantissant un niveau de rejet < 30 mg/L en NGL.

Si les concentrations de rejet en phosphore sont majoritairement conformes aux exigences de rejet, des variations de performances engendrent parfois des dépassements pouvant être expliqués par les éléments suivants :

- On constate que les dispositifs de traitement physicochimique du P ne sont pas toujours bien entretenus ni rechargés en chlorure ferrique par les chargés d'exploitation communaux, d'où la variabilité des résultats sur les stations concernées. La bonne gestion de l'ouvrage de déphosphatation (approvisionnement en FeCl₃, réglage de la pompe doseuse) est donc nécessaire ;
- Les analyses, bien que réalisées par des bilans 24h, représentent un fonctionnement « ponctuel » dans la vie de la station. Les conditions susceptibles de provoquer un relargage des orthophosphates (anaérobiose, surcharges hydrauliques, etc.) doivent être identifiées afin d'évaluer les conditions limites de stabilité du processus. Un travail de recherche est actuellement en cours sur ce point entre l'INSA de Lyon, la société SCIRPE et Irstea pour préciser les modalités d'un tel phénomène et les limites du système.

On notera cependant que la concentration de sortie ne doit pas nécessairement être atteinte pour assurer la conformité du rejet. Ainsi, les niveaux de rejet requis pour le paramètre P sont variables d'une station à l'autre (exprimés en concentration ou rendement).

Au regard du nombre limité de données, des retours supplémentaires seraient nécessaires pour bien fixer le niveau minimal de concentration en P garantissable par le procédé.

Mots clés

Dimensionnement, lit bactérien, filtres plantés de roseaux, traitement des eaux usées

**Synthesis of the Azoé process (SCIRPE)
Final Report**

S. Prost-Boucle – P. Molle

Abstract

The Azoé® process developed by the Scirpe company is based on a biological first step treatment by a trickling filter followed by 2 stages of vertical flow constructed wetlands (VFCW). Several designs are proposed according to the outlet water quality required on total nitrogen and/or phosphorous: Azoé-N, Azoé-P and Azoé-NP. Given that the process is new (22 treatment plants since 2004), this evaluation consisted in the study of 29 24h-flow-composite samples, 6 of which only with intermediate samples, from 9 treatment plants. The small number of existing data and the quite low loading rate of the treatment plants hinder the limits determination of the system have in this study.

Removal performances, under low loads received, are excellent: 89% of COD retention, 96% of BOD₅, 99% of SS, 94% of KN. For the trickling filter, performances of dissolved parameters are very good. VFCW have very good overall performances, typical of a conventional French VFCW treatment plant and quite stables. KN removal performances of VFCW are almost always > 90%. Nitrification on the 1st stage of RBF could be improved by a better oxygen supply into the filter by increasing the batch volume (> 2 cm/m²) and/or installing intermediate aeration drains. Moreover it seems that the 1st stage treats the major part of the pollution, which could allow an optimization of the 2nd stage design for nitrogen treatment, and arises question on its usefulness in the absence of nitrogen removal requirement.

Outlet quality levels appear to be very low for all 24h-flow-composite samples studied, and those imposed on nitrogen are always respected. According to total nitrogen requirements VFCW are saturated or not: 92% of TN removal is observed when TN requirements are present. The study highlights that VFCW with a saturation of 65/65 and 50/100 (% of filter depth saturation) for first and second stage filter respectively, an outlet level < 30 mg/L on total nitrogen can be achieved.

If P outlet concentrations are mostly consistent with quality requirements, performances variability sometimes lead to outlet level above the limit. That can be explained by the following points: Chemical phosphorus removal management is often difficult for small communities (FeCl₃ not reloaded, insufficient dosage...) and can generate too high P outlet concentrations. A good management of this part of the process is necessary; Analyses, although conducted by 24h-assessments, represent a "punctual" observation in the life of the treatment plant. Conditions that are likely to provoke an orthophosphate release (eg: anaerobic condition, hydraulic overloads) must be identified in order to assess the limits of the process regarding P removal. Research work is currently running on this point between INSA Lyon, Irstea and Scirpe company in order to specify the conditions of P release in such systems.

Note, however, that the outlet concentration does not need to be always achieved to ensure the compliance to water quality requirements as performances rates can be sufficient. Given the few existing data, additional knowledge from the field is needed to secure the minimum outlet P concentration the process can maintain.

Keywords

Design, trickling filter, constructed wetlands, Wastewater treatment, reed beds.

**Synthèse du procédé Azoé (SCIRPE)
Rapport final**

S. Prost-Boucle – P. Molle

Corps du document

I. DONNEES CONSTRUCTEUR - DIMENSIONNEMENT

I.1. Principe général

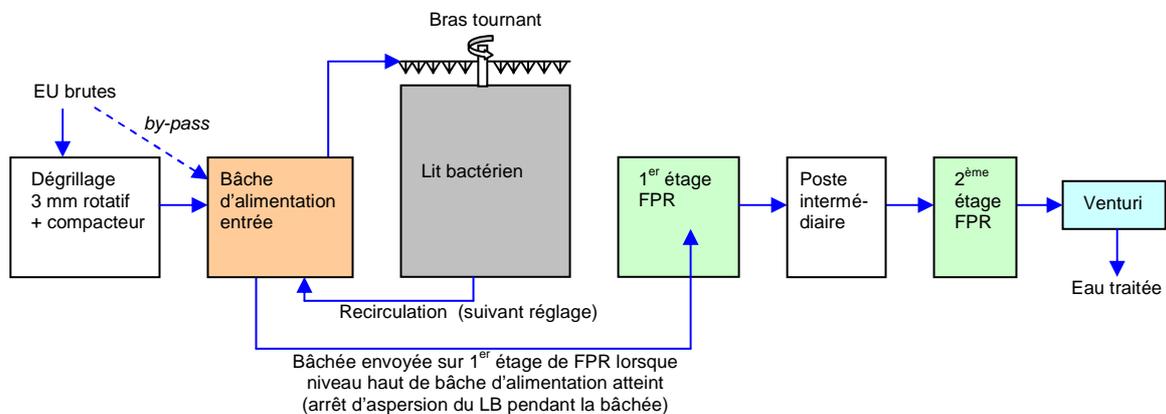


Figure 1 : Schéma de principe de fonctionnement d'une station Azoé

Le principe repose sur un prétraitement biologique sur LB associé à deux étages de filtration verticale. Le rôle principal du LB est une transformation du carbone soluble en particulaire. La filière est constituée d'un dégrillage fin (3 mm), d'un lit bactérien (LB) et de 2 étages de filtres plantés de roseaux à écoulement vertical (FPR).

Le procédé est protégé par le brevet d'invention européen n°07 107814.1.

I.2. Parc de stations

On recense actuellement 22 stations Azoé en fonctionnement ou en construction. La première station a été mise en route en 2004 (Vercia, 39), le développement de ce procédé reste encore jeune (liste en annexe 1).

I.3. Types de stations Azoé

Le procédé se décline en 4 types d'Azoé :

- Azoé : traitement du carbone + nitrification
- Azoé-N : traitement du carbone + nitrification + dénitrification
- Azoé-P : traitement du carbone + nitrification + déphosphatation physico-chimique
- Azoé-NP : traitement du carbone + nitrification + dénitrification + déphosphatation physico-chimique

En cas de dénitrification (Azoé-N et Azoé-NP), une saturation partielle ou totale du 2^{ème} et/ou du 1^{er} étage de FPR est mise en place. Le détail de cette mise en œuvre est précisé en partie suivante I.3.4.

En cas de déphosphatation physicochimique (Azoé-P et Azoé-NP), une injection de chlorure ferrique a lieu sous agitation dans la bêche d'alimentation d'entrée avant envoi de la bêche sur les filtres plantés.

I.4. Données de dimensionnement et de fonctionnement

I.4.1. Lit bactérien

Le lit bactérien se compose d'un garnissage plastique ordonné en nid d'abeille (surface spécifique de $100 \text{ m}^2/\text{m}^3$) de 2,6 à 3 m de haut (Photo 1). Il s'agit d'une structure semi-enterrée en béton, circulaire, avec alimentation par sprinkler rotatif (bras tournant) ou buses d'aspersion.

Le fait d'enterrer le LB présente un avantage esthétique mais également thermique (protection contre le froid). Une attention particulière doit être portée à la conception et à l'entretien des systèmes de distribution (absence de sable, lingettes, etc.)

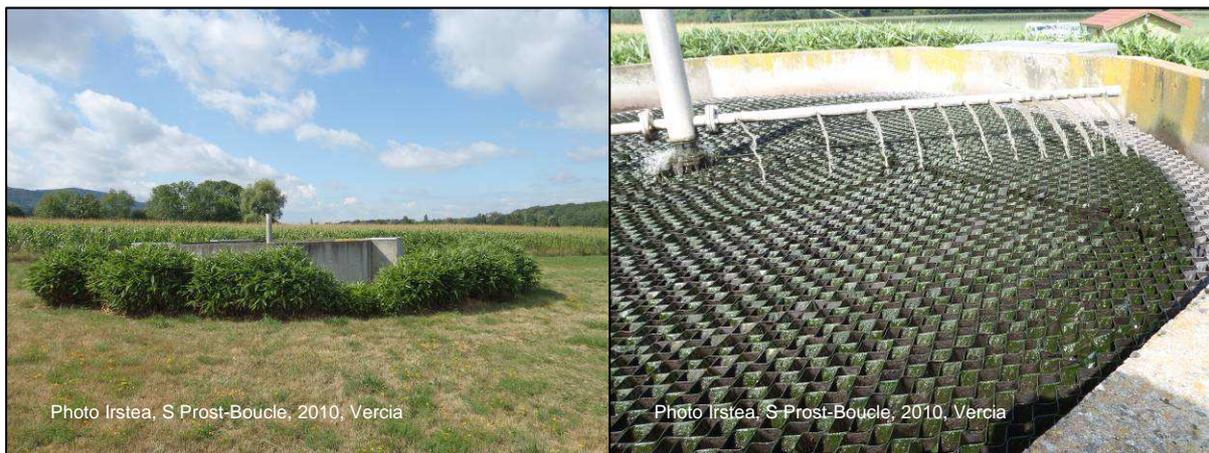
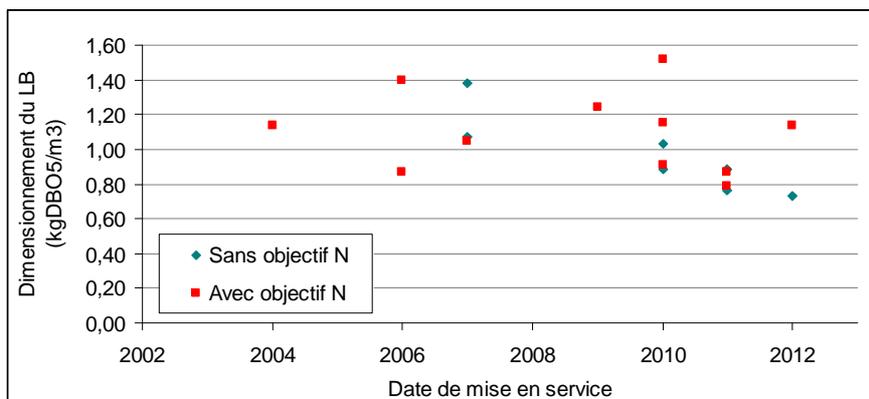


Photo 1 : Lit bactérien, Vercia (39), 2010

Le dimensionnement du volume de garnissage est adapté à la nature de l'effluent (domestique, viticole, etc.) et à l'objectif de traitement. La charge volumique est généralement comprise entre $0,8\text{-}1,5 \text{ kgDBO}_5/\text{m}^3$: 1.0 à 1.4 pour Azoé, 0.8 à 1.0 pour Azoé-N.



Graphique 1 : Dimensionnement du LB au cours du temps en fonction des stations avec arrêté préfectoral sur l'azote (NK et/ou NGL)

Le constructeur Scirpe apporte les éléments de dimensionnement suivants :

	Azoé ou Azoé-P	Azoé-N ou Azoé-NP
Cv (kgDBO ₅ /m ³ /j)	1.0 - 1.4	0.8 - 1.0
Dimensionnement (m ³ /EH)*	0.043 - 0.06	0.06 - 0.075

* Sur la base de 60 gDBO₅/EH/j

Tableau 1 : Eléments de dimensionnements du LB selon constructeur

Il précise également que le dimensionnement du LB est ajusté selon les éléments suivants :

- dispositions constructives : réutilisation d'ouvrages existants, forme du LB ;
- présence ou non de pointes polluantes saisonnières : effluents viticoles, fromageries, etc. ;
- présence ou non d'une recirculation entre étages FPR (sortie 2^{ème} étage vers entrée 1^{er} étage).

Le taux de recirculation sur le LB peut être déduit de la durée de fonctionnement de la pompe d'alimentation du LB (exprimé en heures par jour) reporté dans un nombre limité de bilans 24h. Pour le constructeur, il ne s'agit pas de l'alimenter en continu, et ce afin d'effectuer un prétraitement biologique de l'effluent avant le traitement principal sur les FPR, et de réduire les coûts énergétiques liés à la recirculation sur le LB.

Le Tableau 2 présente quelques exemples de dimensionnements et de fonctionnements de LB sur deux stations Azoé : Vercia (1100 EH) et Bayel (1200 EH). A titre informatif, les valeurs guides proposées par Racault et Seguret (1996¹) pour le dimensionnement des lits bactériens (traitement biologique complet) sont également incluses dans le tableau. Ces valeurs ne sont pas spécifiques à l'utilisation du LB forte charge en prétraitement. Certaines données sont également discutées en partie IV.

	Vercia	Bayel	Valeurs guides ²
Charge hydraulique et taux de recirculation			
Charge hydraulique de fonctionnement, m/h	0,9	2,1	> 2,5
Hauteur de fonctionnement LB (% de la hauteur totale)	50	30	
Eau du poste recirculée (%)	80	80	
Taux de recirculation moyen	5	6	
Q admis sur LB (m ³ /j)	292	378	
Charge hydraulique appliquée sur LB (m/j)	14	18	
Calcul du Sk lors du fonctionnement du LB			
Nb de bras	2	2	
Nb de tours/h	60	60	
Sk (mm/tour)	8	18	> 40
Charges organiques			
Charge en DBO ₅ (kg/m ³ /j)	1.14	1.24	< 0.6
Charge en NK (kg/m ³ /j)	0.23	0.25	< 0.08
Charge en N (g/m ² /j)	2.3	2.5	< 1.2

Tableau 2 : Exemples de dimensionnement et fonctionnement du LB sur 2 stations Azoé

Les détails des calculs du Tableau 2 sont inclus dans l'annexe 2.

1.4.2. Filtres verticaux plantés de roseaux

Le dimensionnement constructeur des filtres à écoulement vertical est présenté dans le Tableau 3.

	1 ^{er} étage	2 ^{ème} étage
Nombre de cellules	3	2
Hauteur de matériaux	80 cm	80 cm
	Dimensionnement classique des FPR :	
Granulométrie	30 cm graviers 2/6 30 cm graviers de transition 20 cm couche de drainage	30 cm sable 30 cm graviers 2/6 20 cm couche de drainage
Surface totale /étage	Azoé : 0.8-1.1 m ² /EH Azoé-N : 1.0-1.2 m ² /EH Constaté : 0.55-1.1 m ² /EH	Azoé et Azoé-N : 0.4-0.6 m ² /EH Constaté : 0.25 à 0.6 m ² /EH
Rotation des lits	1 semaine d'alimentation / 2 semaines de repos. Gestion par automate	
Alimentation	1 point d'alim./25 m ²	1 point d'alim./15 m ²
Débit surfacique	0.4-0.6 m ³ /m ² /h	-
Séparation des lits	Chaque étage est construit en 1 bloc, où les filtres sont séparés uniquement sur 30 cm en surface (exception : 2 ^{ème} étage de Vercia)	

² Racault, Y., Seguret F., (1996) *Eléments de dimensionnement pour la nitrification en lit bactérien. Colloque Cemagref, Traitement de l'azote, Pollutec, Lyon, 25 Octobre 1996.*

Variable selon le taux de NGL requis :		
Taux de saturation des filtres	0 %	+ 0 %
	0 %	+ 50 %
	50 %	+ 50 %
	50 %	+ 100 %

Tableau 3 : Dimensionnement des FPR aux 1^{er} et 2^{ème} étages

Le dimensionnement des FPR est identique (excepté la surface requise) aux FPR classiquement implantés pour le traitement des eaux usées domestiques en petites collectivités. Les matériaux filtrants sont siliceux, roulés et lavés. Les filtres d'un même étage sont généralement connectés entre eux à la base : la séparation hydraulique pour assurer les périodes de repos se fait donc sur 30 cm de profondeur uniquement.

Le constructeur indique que le dimensionnement des filtres (en particulier du 1^{er} étage) est fortement influencé par :

- les charges hydrauliques en temps sec et en temps de pluie
- la prise en compte d'une éventuelle recirculation.

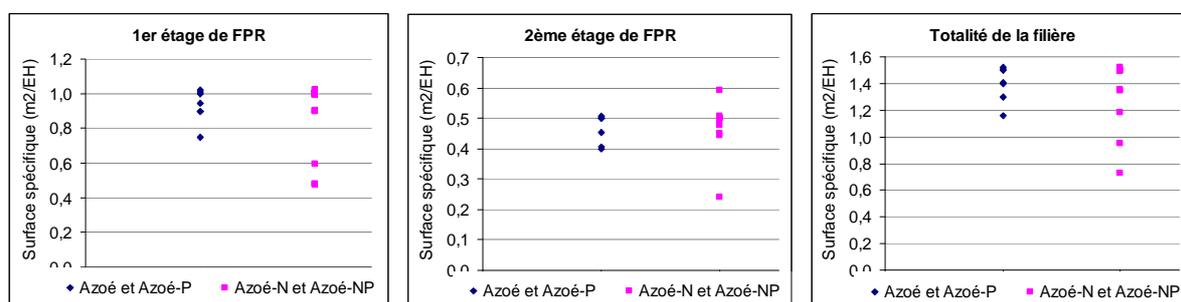
Selon le constructeur, le facteur limitant du dimensionnement de la surface des filtres est la charge hydraulique. A titre indicatif, les limites suivantes sont fournies :

- 0.5 à 0.7 m/j en temps sec
- 2 à 2.5 m/j en temps de pluie

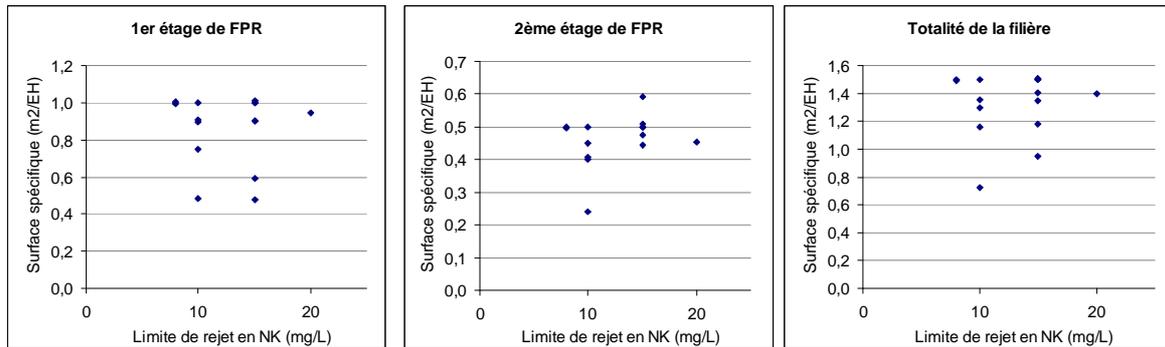
1.4.3. Particularité de la nitrification-dénitrification

On ne relève pas d'évolution du dimensionnement dans le temps (au cours des années) suite à un éventuel retour d'expérience.

D'autre part, en cas de dénitrification (Azoé-N), une saturation partielle ou totale du 2^{ème} et/ou du 1^{er} étage de FPR est mise en place. Toutefois, il n'existe pas de préconisations détaillées quant au niveau de saturation des filtres à appliquer pour chaque niveau de traitement en NGL requis.



Graphique 2 : Dimensionnement de chaque étage de FPR en fonction des stations avec arrêté préfectoral sur l'azote (NK et/ou NGL)



Graphique 3 : Dimensionnement de chaque étage de FPR en fonction des concentrations requises sur l'azote (limites de rejet)

II. PROTOCOLE DE TRAITEMENT DES DONNEES

Récupération des données issues de :

- 15 bilans 24 h constructeur/exploitant/prestataire,
- 3 bilans 24 h Irstea,
- 11 bilans 24 h SATESE,
- 7 prélèvements ponctuels.

Certaines données ont été exclues pour l'analyse : prélèvements sur la station de Bayel antérieurs à juillet 2011 (effluent particulier dont cristallerie, problème analytique), bilan sur Beaufort-Orbagna du 17-18/07/2011 (effluent brut très dilué), des prélèvements ponctuels.

Certaines valeurs ont été transformées :

- limites de quantification (DCO = 30 mg/L, DBO₅ = 3 mg/L, MES = 2 mg/L).
- re-calcul systématique de la charge hydraulique nominale (valeur utilisée : 150 L/EH).

Les données analysées concernent les 9 stations suivantes :

Station	Dpt	Mise en service	Capacité (EH)	Azoé	Azoé-N	Azoé-P	Azoé-NP
Brenod	01	2007	1200	x			
Neuville les Dames	01	2011	1600	x			
Beaufort-Orbagna	39	2010	3800				x
Crançot	39	2006	600				x
Vincelles	39	2006	900				x
Vercia	39	2004	1100				x
Chalmazel	42	2007	1040	x			
Matour	71	2010	1600			x	
Bayel	10	2009	1200		x		

Tableau 4 : Liste des stations pour lesquelles les données ont été étudiées

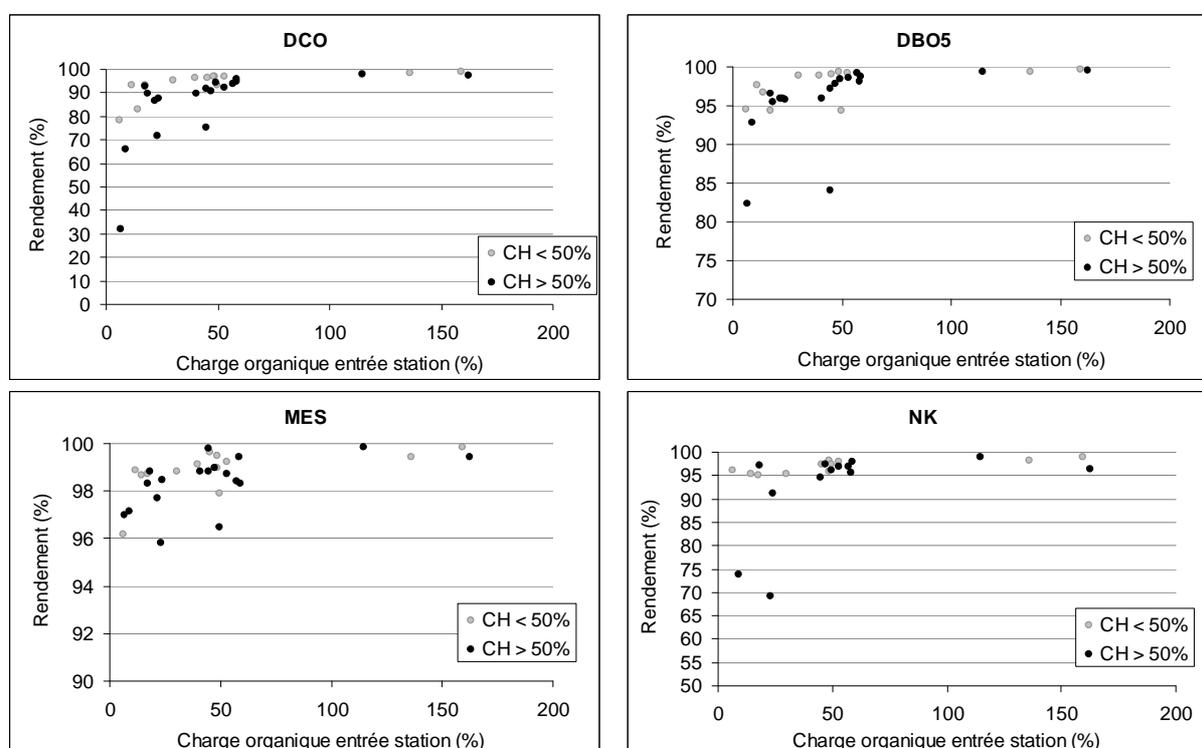
Il est à noter que de nombreux bilans 24 h concernent uniquement des prélèvements entrée-sortie station. Par conséquent, il est délicat d'analyser correctement le rôle et les limites de chaque étape de traitement.

La totalité des données traitées est détaillée en annexe 3.

III. PERFORMANCES GLOBALES

III.1. Rendements

Les rendements globaux exprimés en fonction de la charge se réfèrent au % de charge vis-à-vis de la capacité nominale de la station (Graphique 4). Les dimensionnements en termes de m² de filtre ou de volume de lit bactérien par EH étant différents, il est délicat par cette approche de comparer les stations entre elles. Cette représentation donne une indication globale des performances observées sur le terrain. Pour la quasi-totalité de ces bilans (c. à d. excepté pour 2 bilans sur 29), la charge hydraulique est inférieure au nominal (100 %).



Graphique 4 : Rendements totaux en fonction du taux de charge organique en entrée station

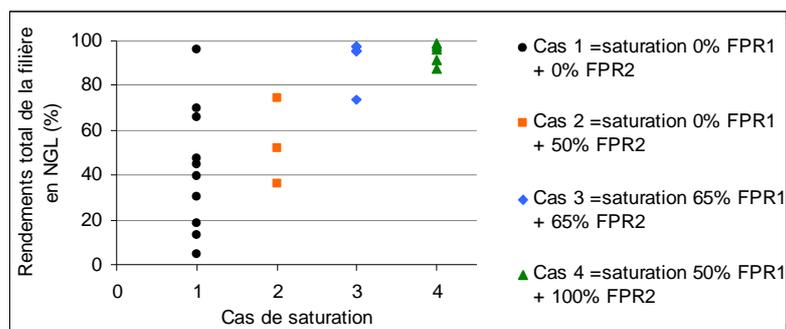
Rendements (%)	DCO	DBO ₅	MES	AZOE ou AZOE-P			AZOE-N ou AZOE-NP		
				N-NH ₄	NK	NGL	N-NH ₄	NK	NGL
Total STEU									
min	32	82	96	83	69	5	94	74	74
Max	99	100	100	100	98	96	100	99	99
MOY	89	96	99	94	94	42	97	95	92
Ecart-type	13	4	1	9	8	27	3	7	9
Nb valeurs	37	36	37	3	13	11	3	13	13

Tableau 5 : Rendements globaux

Les rendements du système dans sa globalité sont très corrects pour tous les paramètres (Tableau 5). On observe une certaine variabilité, généralement pour de faibles charges organiques. Si les fortes charges organiques correspondent généralement à des concentrations élevées en entrée, les bonnes performances observées dans ce cas montrent une certaine robustesse du système. On note le maintien de très bons rendements au-delà de 100 % de charge organique. L'effluent de sortie est toujours de bonne qualité. Cela tend à montrer que les limites du système ne semblent pas atteintes sur ces stations.

D'autre part, sur le paramètre NK, on n'observe pas de différence entre Azoé-N et Azoé. Dans la mesure où le lit bactérien démarre la nitrification, la limite de nitrification des filtres (même en partie saturés) ne semble donc pas atteinte dans les conditions des mesures.

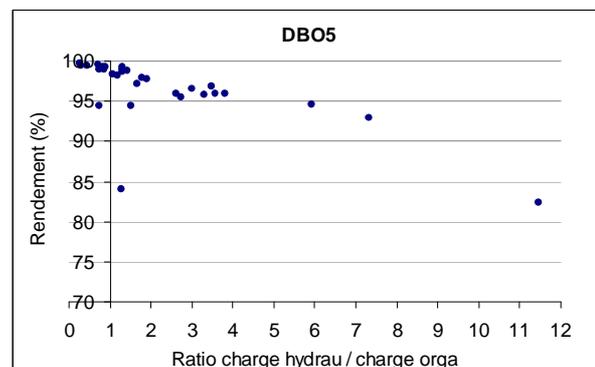
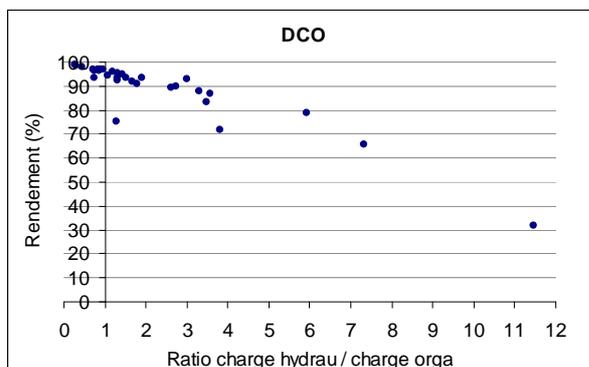
En revanche, on note une nette tendance au maintien de bonnes performances en NGL lorsque le taux de saturation des FPR diffère pour les stations avec un objectif azote plus poussé (Azoé-N et Azoé-NP) : 92 % de rendement moyen contre 42 %. Le rôle du niveau de saturation est de grande importance sur la maîtrise de la dénitrification (Graphique 5).

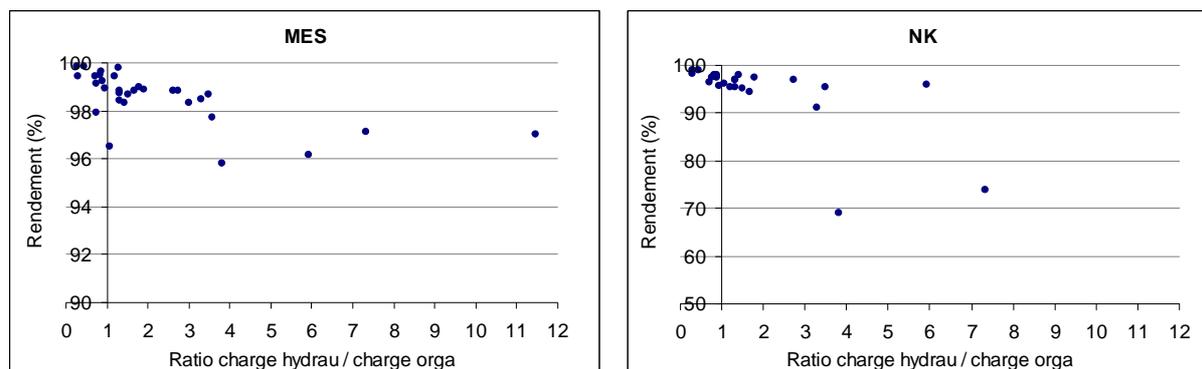


Graphique 5 : Rendement total en NGL pour différents niveaux de saturation des FPR

Les rendements observés pour des effluents dilués sont logiquement plus faibles comme on peut le voir sur les éléments du Graphique 6, ce qui est valable quel que soit le procédé étudié (l'activité épuratoire est plus conséquente lorsque la concentration est élevée). La réduction des performances épuratoires avec l'augmentation de la dilution des eaux d'entrée est donc tout à fait logique. Cette baisse traduit à la fois des temps de séjour plus courts dans les différentes parties du process, ainsi qu'un effluent plus dilué en entrée.

Cette remarque est valable quel que soit le paramètre, excepté sur les MES : la filtration au travers de 2 étages de FPR assure une très bonne rétention des MES.





Graphique 6 : Rendements totaux en fonction du ratio des taux de charges hydraulique/organique en entrée station

En effet, concernant les MES, aucun décrochage de biomasse en lien avec l'augmentation des charges hydrauliques n'a été observé et les rendements sont très bons, toujours supérieurs à 95 %. Les deux étapes de filtration, dont l'étape finale sur sable, assurent une sécurité en termes de filtration.

III.2. Concentrations

Concentrations (mg/L)	DCO	DBO ₅	MES	AZOE ou AZOE-P			AZOE-N ou AZOE-NP		
				N-NH ₄	NK	NGL	N-NH ₄	NK	NGL
EB									
min	44	17	52	12	10	10	60	19	19
Max	2989	1018	1534	71	98	98	74	139	139
Moy	665	245	349	43	45	45	68	69	69
Ecart-type	614	235	362	29	21	21	7	35	35
Nb valeurs	37	36	37	3	12	13	3	13	13
Sortie station									
min	20	3,0	2,0	0,1	0,9	2	0,1	0,8	1
Max	76	19,0	10,0	2,0	3,0	126	3,5	6,6	58
Moy	33	4,0	3,0	0,5	1,8	36	1,6	2,5	11
Ecart-type	10	2,9	1,9	0,6	0,9	32	1,8	1,6	16
Nb	37	36	37	11	13	13	3	18	18

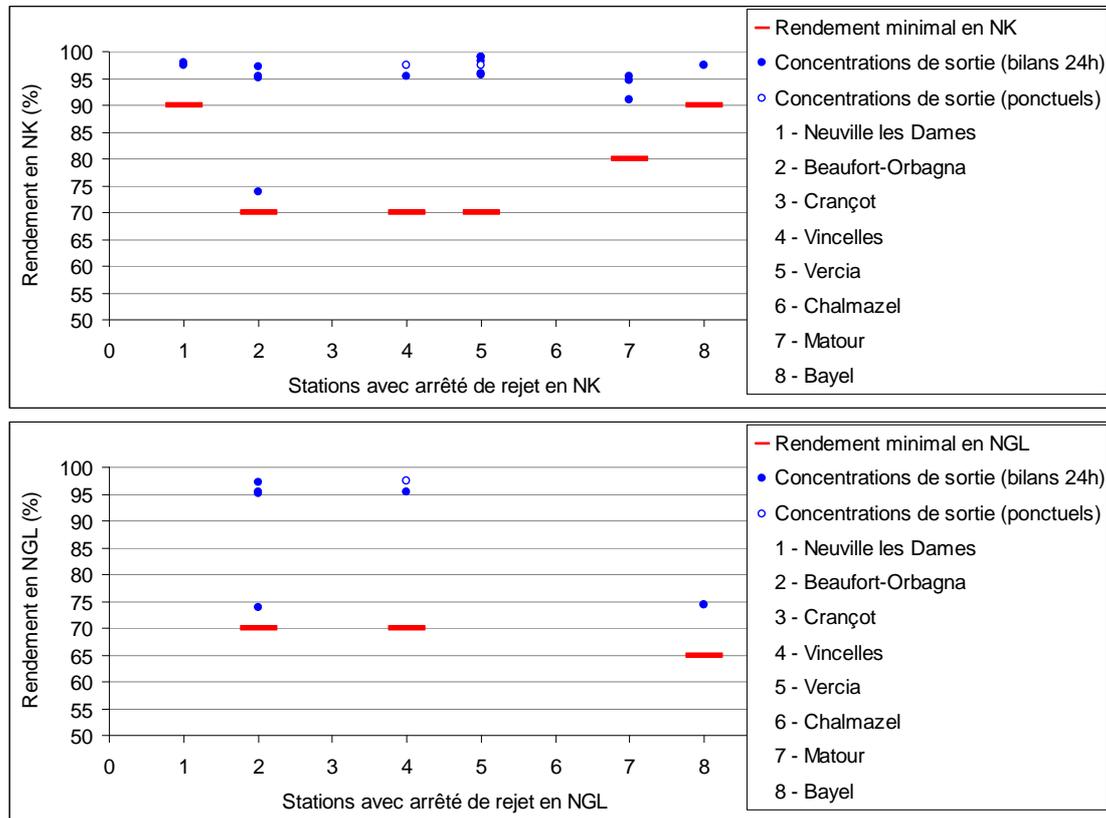
Tableau 6 : Concentrations d'entrée et sortie station

Les fortes concentrations en eau usée brute entrée station sont dues à des effluents viticoles (périodes de vendanges, sept. et oct. 2011) acceptés sur la station de Vercia (39). Dans ce cas précis, les EB ne sont pas représentatives d'effluents domestiques, mais elles sont intégrées dans les domaines de garantie constructeur. Les caractéristiques des eaux usées brutes (ratios typiques DCO/DBO₅ et DCO_{particulaire}/MES) sont consignées dans l'annexe 4.

Les concentrations de sorties (Tableau 6) sont toujours très correctes mais sont à relativiser au regard des charges reçues, généralement inférieures au nominal, sur les stations suivies.

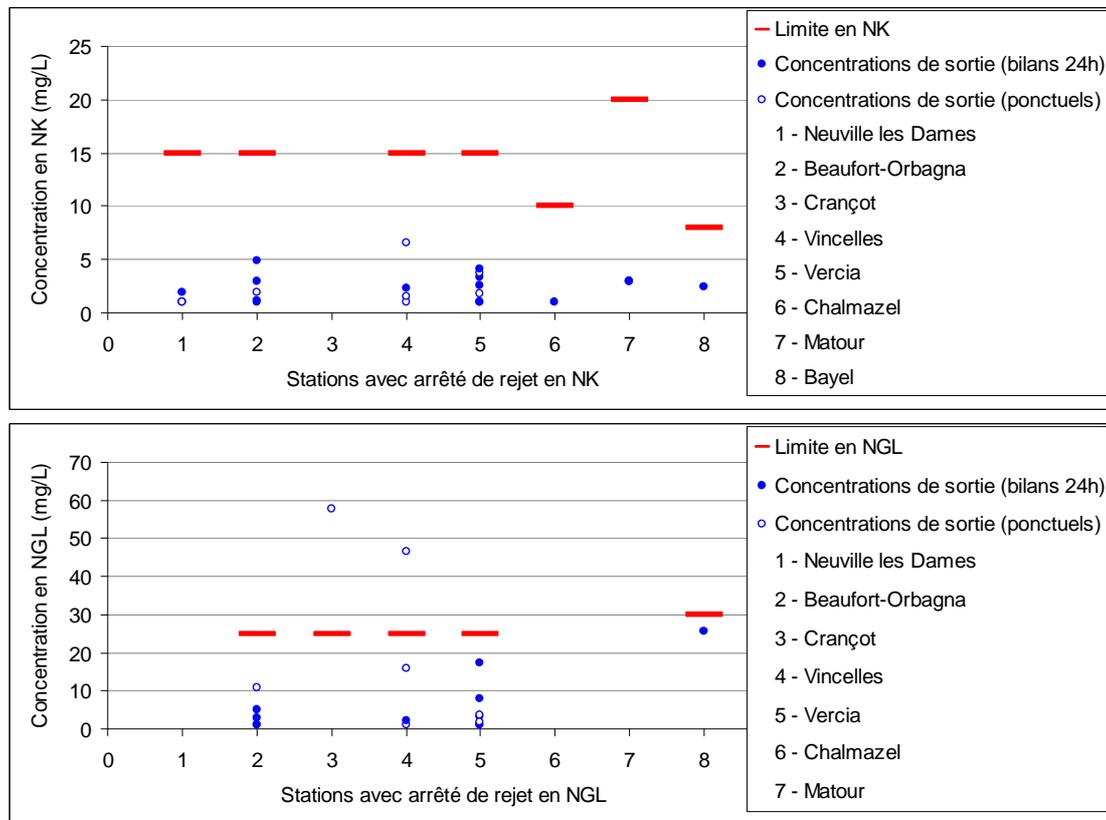
III.3. Traitement de l'azote

Les rendements observés sur l'azote ont été confrontés aux exigences de rejet : les performances minimales requises sont toujours respectées.



Graphique 7 : Rendements en NK et NGL pour les stations avec arrêté préfectoral sur l'azote

Les teneurs de sortie stations observées sur l'azote ont été confrontées aux exigences de rejet : les concentrations maximales de rejet admises sont généralement respectées (Graphique 8).



Graphique 8 : Concentrations de sortie en NK et NGL pour les stations avec arrêté préfectoral sur l'azote

On relève des mesures en NGL élevées sur 2 prélèvements ponctuels correspondant à une forte nitrification couplée à une dénitrification non suffisante. Sur Crançot, les filtres n'étaient pas saturés alors qu'ils auraient dû l'être, empêchant toute dénitrification. Sur Vincelles, le fait que le prélèvement soit ponctuel invite le lecteur à modérer toute comparaison ou interprétation, au vu des autres prélèvements disponibles respectant les exigences de rejet.

III.4. Traitement du phosphore

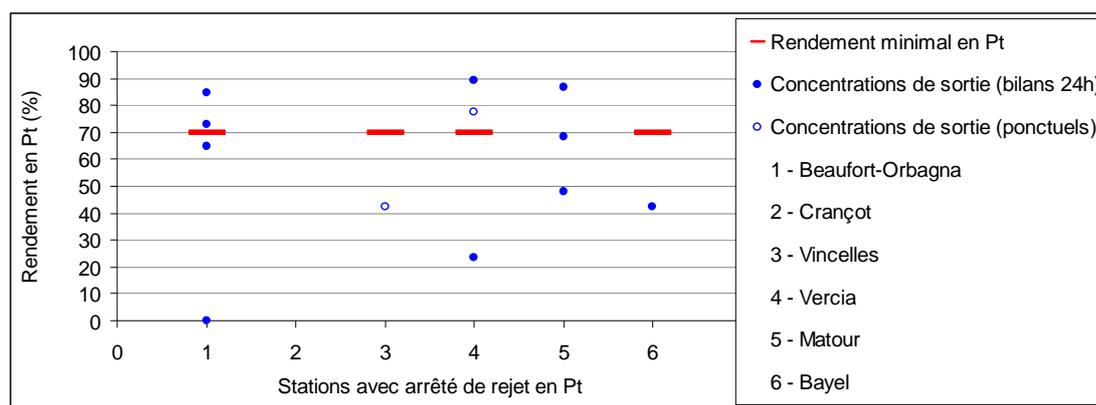
Concernant les performances sur le phosphore total (Pt), on distingue nettement les stations sur lesquelles un traitement au chlorure ferrique (FeCl_3) a lieu. Le Tableau 7 présente les rendements et les concentrations de rejet mesurés.

Rendements (%)	AZOE ou AZOE-N	AZOE-P ou AZOE-NP
Total STEU		
min	0	24
Max	72	89
Moy	41	66
Ecart-type	28	22
Nb valeurs	7	10
Concentrations (mg/L)	AZOE ou AZOE-N	AZOE-P ou AZOE-NP
EB		
min	3	3

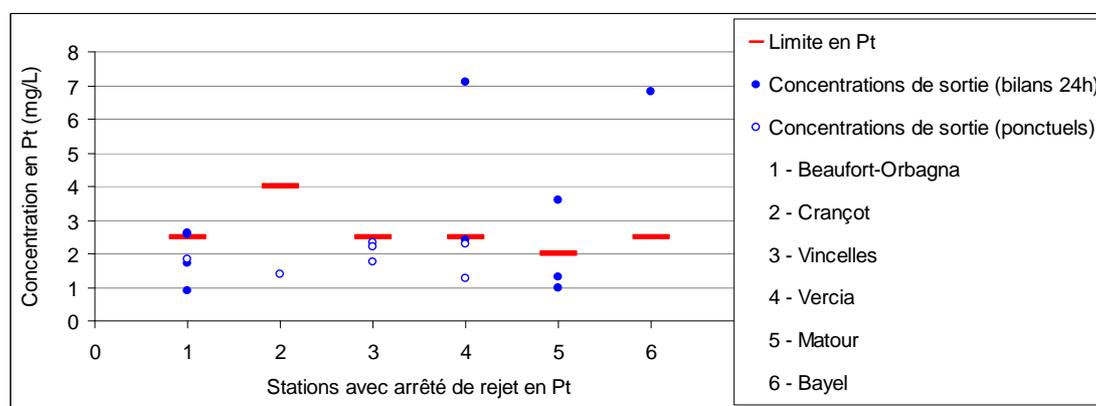
Max	12	22
Moy	8	9
Ecart-type	3	6
Nb valeurs	8	10
Sortie station		
min	1.1	0.9
Max	6.8	7.1
Moy	4.3	2.2
Ecart-type	2.2	1.5
Nb	8	16

Tableau 7 : Rendements et concentrations en Pt

La rétention naturelle du P par adsorption en début de fonctionnement de station est importante et tend à diminuer fortement au cours de la 2^{ème} année de fonctionnement. Ce processus n'étant pas lié à l'ajout de chlorure ferrique, les analyses en P effectuées la première année de fonctionnement n'ont pas été incluses dans l'interprétation. Néanmoins, les stations Azoé restent récentes et peu chargées : il se peut que des réactions d'adsorption subsistent durant les 3 premières années de fonctionnement.



Graphique 9 : Rendements en Pt pour les stations avec arrêté préfectoral sur le phosphore



Graphique 10 : Concentrations de sortie en Pt pour les stations avec arrêté préfectoral sur le phosphore

Les points de fortes concentrations des stations n°4, 5 et 6 sont liés à :

- 4-Vercia : la pompe d'injection de FeCl_3 était en panne lors du bilan présentant une concentration de Pt de sortie supérieure à 7 mg/L ;
- 5-Matour : absence d'injection de FeCl_3 lors du bilan présentant une concentration de Pt de sortie supérieure à 3 mg/L ;
- 6-Bayel : absence d'injection de FeCl_3 lors du bilan présentant une concentration de Pt de sortie supérieure à 6 mg/L.

Si les concentrations de rejet sont majoritairement conformes aux exigences de rejet, des variations de performances engendrent parfois des dépassements pouvant être expliqués par les éléments suivants :

- On constate que les dispositifs de traitement physicochimique du P ne sont pas toujours bien entretenus ni rechargés en chlorure ferrique par les chargés d'exploitation communaux, d'où la variabilité des résultats sur les stations concernées. La bonne gestion de l'ouvrage de déphosphatation (approvisionnement en FeCl_3 , réglage de la pompe doseuse) est donc nécessaire ;
- Les analyses, bien que réalisées par des bilans 24 h, représentent un fonctionnement « ponctuel » dans la vie de la station. Les conditions susceptibles de provoquer un relargage des orthophosphates (anaérobiose, surcharges hydrauliques, etc.) doivent être identifiées afin d'évaluer les conditions limites de stabilité du processus. Un travail de recherche est actuellement en cours sur ce point entre l'INSA de Lyon, la société SCIRPE et Irstea pour préciser les modalités d'un tel phénomène et limites du système.

On notera cependant que la concentration de sortie ne doit pas nécessairement être atteinte pour assurer la conformité du rejet. Ainsi, les niveaux de rejet requis pour le paramètre P sont variables d'une station à l'autre (exprimés en concentration ou rendement, Graphique 9 et Graphique 10).

Au regard du nombre limité de données, des retours supplémentaires seraient nécessaires pour bien fixer le niveau minimal de concentration en P garantissable par le procédé.

Nous disposons d'un nombre de données trop faible (dont seulement 6 bilans 24h avec prélèvements intermédiaires en sorties du lit bactérien et/ou du 1^{er} étage de FPR) pour pouvoir analyser indépendamment les performances de chaque ouvrage. La suite du document est donc à prendre avec précaution en termes d'interprétations. Les résultats observés serviront majoritairement comme base de discussion pour mettre en avant des questionnements qu'il sera nécessaire de creuser dans l'avenir.

IV. PERFORMANCES DU LIT BACTERIEN

IV.1. Discussion de la charge appliquée au LB

Les performances des lits bactériens dépendent de nombreux facteurs (disponibilité de l'oxygène, température, caractéristiques des eaux d'entrée, caractéristiques du matériau de remplissage, conditions hydrauliques, etc.). Dans la mesure où de nombreuses données sont absentes pour une étude fine du process, nous nous attacherons à présenter les résultats obtenus sous différentes formes pour tenter de préciser les variations observées sur les suivis.

Les différentes formes de représentation des performances peuvent être réalisées suivant la charge reçue par volume de matériaux ou par la surface développée des matériaux. Le problème de conversion entre surface développée et volume n'est pas aisée dans la mesure où la surface colonisée par la biomasse est généralement inférieure à celle de la surface développée du matériau (données constructeur), en raison de difficultés d'accessibilité statique et d'un éventuel mouillage incomplet. Si des études existantes suggèrent des valeurs, ces dernières dépendent de nombreux facteurs comme le type de garnissage et les paramètres hydrauliques (charge hydraulique, force d'irrigation...). En raison de la difficulté d'obtenir l'ensemble des informations nécessaires (débit des pompes de recirculation, réglages réels des temps de recirculation...), les représentations de rendements ne sont pas optimisées.

Le constructeur intègre le LB en fonctionnement à forte charge volumique afin de prétraiter les effluents avant admission sur la filière FPR, contrairement à un traitement sur LB seul qui serait à faible, voire à très faible charge. Les charges hydrauliques reçues sur la base des données disponibles (1 à 2 m/h) sont inférieures aux valeurs de 2.5-3.5 m/h recommandées par Racault et Seguret (1996³) pour assurer un mouillage correct et une bonne capacité d'oxygénation. Les capacités du LB pourraient donc potentiellement être optimisées sur la filière Azoé en ajustant ce paramètre.

IV.2. Performances du LB

Les rendements et concentrations d'entrée et de sortie du lit bactérien sont présentés dans les Tableau 8 et Tableau 9.

Rendements (%)	DCO	DCO dissoute	DCO classique sur LB *	DBO ₅	MES	AZOE ou AZOE-P		AZOE-N ou AZOE-NP		Pt
						N-NH ₄	NK	N-NH ₄	NK	
LB										
min	29	31	85	19	7	-	13	14	16	0
Max	79	77	96	82	73	-	64	78	68	56
Moy	46	59	91	53	31	41	39	54	45	23
Ecart-type	20	25	6	29	26	-	26	34	27	26
Nb valeurs	5	3	3	5	5	1	3	3	3	5

* L'élimination de la DCO sur un LB est classiquement représentée de la manière suivante :
 Rendement en DCO = (DCO_{brute} entrée station - DCO_{dissoute} sortie LB) / DCO_{brute} entrée station.

Tableau 8 : Rendements sur le LB

Concentrations (mg/L)	DCO	DCO dissoute	DBO ₅	MES	AZOE ou AZOE-P			AZOE-N ou AZOE-NP		
					N-NH ₄	NK	NGL	N-NH ₄	NK	NGL
EB*										
min	244	229	71	130	45	34	34	60	96	97
Max	2470	404	1018	1534	45	65	65	74	139	139
Moy	997	309	368	525	45	51	51	68	112	112
Ecart-type	797	88	378	520	-	16	16	7	24	24
Nb valeurs	6	3	5	6	1	3	3	3	3	3
Sortie LB										
min	144	89	13	108	7	12	28	16	44	52
Max	726	158	220	500	26	57	57	52	81	82
Moy	494	113	138	328	17	34	44	30	59	66
Ecart-type	229	39	85	151	10	22	15	19	20	15
Nb	6	3	5	6	3	3	3	3	3	3

* Les données d'EB ne concernent ici que celles pour lesquelles les données de sortie du LB existent.

Tableau 9 : Concentrations entrée et sortie de LB

Les valeurs relevées lors des bilans 24h font état de bonnes performances sur les paramètres dissous, et notamment sur la DCO filtrée. Cela traduit le fonctionnement du LB qui transforme la pollution dissoute sous forme de biomasse.

Pour les paramètres dissous, on notera tout de même une grande variabilité. Celle-ci ne peut pas être mise en corrélation avec les charges reçues vu le peu de données disponibles (3 bilans avec valeurs intermédiaires de DCO_{dissoute} et de NH₄). Il n'est pas non plus possible d'évaluer l'influence des charges appliquées en DCO, DCO_{dissoute} ou NH₄ sur les performances du lit bactérien.

V. PERFORMANCES DES FILTRES PLANTES DE ROSEAUX

On précise ici que les effluents d'entrée sur le FPR 1 sont différents d'un effluent brut classique. Pour le constructeur SCIRPE, « l'objectif du LB est de préparer les eaux et les boues pour le reste de la filière ». La comparaison avec un système classique à 2 étages de FPR est fournie à titre d'information.

V.1. Performances générales des FPR

Les rendements et concentrations observés à chaque étage de FPR sont détaillés dans les Tableau 10 et Tableau 11.

Rendements (%)	DCO	DCO dissoute	DBO ₅	MES	AZOE ou AZOE-P			AZOE-N ou AZOE-NP		
					N-NH ₄	NK	NGL	N-NH ₄	NK	NGL
FPR 1										
min	86	32	91	95	87	92	11	43	63	49
Max	93	78	100	99	87	92	11	58	81	61
Moy	90	50	97	97	87	92	11	50	70	56
Ecart-type	4	24	5	2	-	-	-	7	10	6
Nb valeurs	4	3	3	4	1	1	1	3	3	3
<i>FPR 1 classique (e-t.)</i>	<i>82 (3)</i>	-	-	<i>89 (3)</i>	-	<i>60 (6)</i>	-	-	-	-
FPR 2										
min	5	6	0	0	77	38	0	83	68	2
Max	49	54	65	87	77	38	0	100	86	76
Moy	34	25	32	30	77	38	0	90	80	37
Ecart-type	20	25	46	41	-	-	-	9	10	37
Nb valeurs	4	3	2	4	1	1	1	3	3	3
<i>FPR 2 classique (e-t.)</i>	<i>60 (8)</i>	-	-	<i>72 (7)</i>	-	<i>78 (7)</i>	-	-	-	-
FPR 1 + 2										
min	79	36	77	97	88	75	0	93	94	50
Max	96	81	99	99	97	95	15	100	95	90
Moy	90	63	91	98	94	87	7	95	95	71
Ecart-type	7	24	9	1	5	10	8	4	1	20
Nb valeurs	6	3	5	6	3	3	3	3	3	3
<i>Station FPR classique (e-t.)</i>	<i>91 (3)</i>	-	-	<i>95 (2)</i>	-	<i>85 (5)</i>	-	-	-	-

Tableau 10 : Rendements des FPR

Concentrations (mg/L)					AZOE ou AZOE-P				AZOE-N ou AZOE-NP			
	DCO	DCO dissoute	DBO ₅	MES	N- NH ₄	NK	N- NO ₃	NGL	N- NH ₄	NK	N- NO ₃	NGL
Sortie LB = entrée FPR1												
min	144	89	13	108	7	12	1	28	16	44	0	52
Max	726	158	220	500	26	57	16	57	52	81	21	82
Moy	494	113	138	328	17	34	10	44	30	59	7	66
Ecart-type	229	39	85	151	10	22	8	15	19	20	11	15
Nb valeurs	6	3	5	6	3	3	3	3	3	3	3	3
Sortie FPR1												
min	46	35	3,0	2,7	3,3	4,8	47	51	7	8	3	26
Max	80	62	19,0	23,0	3,3	4,8	47	51	26	30	17	34
Moy	62	50	11,0	13,9	3,3	4,8	47	51	15	19	10	28
Ecart-type	15	14	11,3	8,4					10	11	7	4
Nb valeurs	4	3	2	4	1	1	1	1	3	3	3	3
Sortie FPR2 = sortie station												
min	20	24	3,0	2,0	0,1	0,9	2	2	0,1	0,8	4	1
Max	76	58	19,0	10,0	2,0	3,0	125	126	3,5	6,6	57	58
Moy	33	37	4,0	3,0	0,5	1,8	37	36	1,6	2,5	23	11
Ecart-type	10	18	2,9	1,9	0,6	0,9	32	32	1,8	1,6	19	16
Nb valeurs	37	3	36	37	11	13	12	13	3	18	7	18

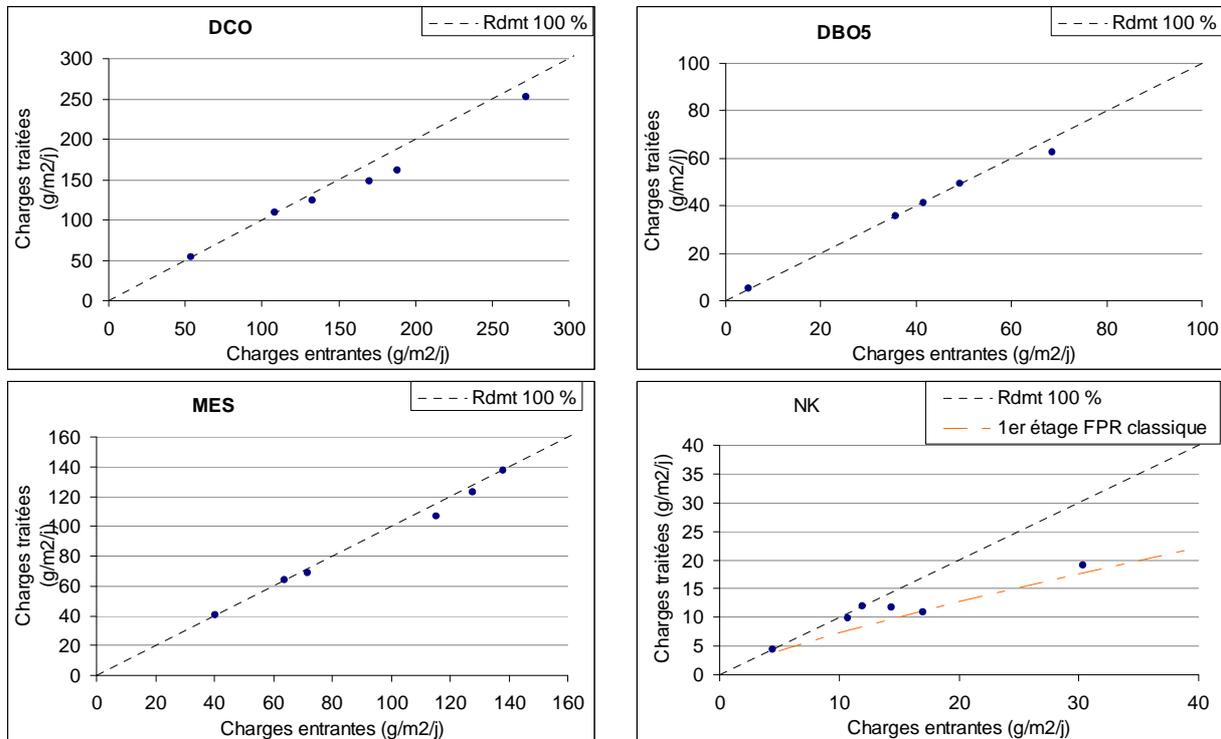
Tableau 11 : Concentrations en entrées et sorties des FPR

Les FPR présentent de très bons rendements globaux, typiques d'une station FPR classique, et assez peu variables : 90 % sur la DCO (écart-type : 7), 98 % sur les MES (e-t. : 1). Les performances sur le NK sont, à quelques exceptions-près, toujours supérieures à 90 %. Les concentrations de rejet atteintes en sortie se révèlent très basses pour tous les bilans 24h étudiés.

Le 1^{er} étage traite la grande majorité de la pollution et délivre un effluent d'un niveau de traitement aérobie satisfaisant, ce qui pourrait permettre une optimisation du dimensionnement du 2^{ème} étage dans le cadre du traitement de l'azote, voire remettre en question son utilité en l'absence de contrainte sur l'azote. On rappelle cependant que la majorité des stations est chargée à moins de 50 % ; des mesures plus proches de la charge nominale sont nécessaires pour préciser son rôle. On notera que le deuxième étage joue un rôle de nitrification complémentaire lorsque le premier étage est en partie saturé pour des objectifs de dénitrification.

V.2. Charges reçues et traitées sur le 1^{er} étage de FPR

Les bilans réalisés à chaque point montrent que le 1^{er} étage de filtres assure son rôle de filtration et de dégradation de la pollution carbonée. Les performances sont excellentes et stables au regard des charges observées sur ces quelques bilans 24h (Graphique 11). On notera que ces dernières sont faibles comparativement aux charges nominales reçues par des FPR classiques, excepté pour les MES. Ceci est rendu possible grâce au LB en amont.



NOTA : Les charges classiques reçues par un FPR 1^{er} étage sur une station de type FPR classique sont de : 300 gDCO/m²/j, 100 gDBO₅ et MES/m²/j, 20 gNK/m²/j.

Graphique 11 : Charges traitées en fonction des charges reçues par le 1^{er} étage de FPR (g/m²/j), sur le filtre en fonctionnement)

Pour la nitrification (graphique « NK ») on observe un décrochage d'une nitrification complète à partir d'une charge de l'ordre de 12 gNK/m²/j, ce qui est similaire à un 1^{er} étage de FPR classique. On précise que ce décrochage concerne des bilans 24h sur Vercia et Bayel tout à fait normaux, sans surcharge hydraulique ou organique particulière, dont les FPR sont partiellement saturés (les 3 autres points à charge < 14 gNK/m²/j concernent la station de Matour faiblement chargée). Les performances de nitrification sont également détaillées en partie V.4.

V.3. Charges reçues et traitées sur le 2^{ème} étage de FPR

Le rôle du 2^{ème} étage est beaucoup plus faible sur les paramètres DCO, DBO₅ et MES. La qualité des eaux sortant du 1^{er} étage est déjà correcte sur ces paramètres. On observe en revanche un complément de nitrification au 2^{ème} étage avec une certaine variabilité. Etant donné le peu de valeurs disponibles, cette variabilité ne peut pas être discutée au regard des charges reçues et du niveau de saturation des filtres.

V.4. Impact de la saturation des fonds de filtres sur la nitrification et la dénitrification

Deux campagnes de mesures de redox et de saturation en oxygène ont été réalisées sur la station de Vercia, la plus ancienne référence du procédé Azoé. Ce suivi a eu pour objet d'évaluer l'impact de la saturation en eau des massifs de filtration sur les performances de nitrification et de dénitrification.

La campagne d'octobre 2011 a été réalisée en suivant le potentiel redox aux différentes étapes de la filière :

- poste d'alimentation du 1^{er} étage en recirculation sur le LB, représentatif de l'activité de ce dernier,
- poste d'alimentation du 2^{ème} étage, représentatif du fond de filtre du 1^{er} étage,
- canal de sortie station, représentatif du fond de filtre du 2^{ème} étage.

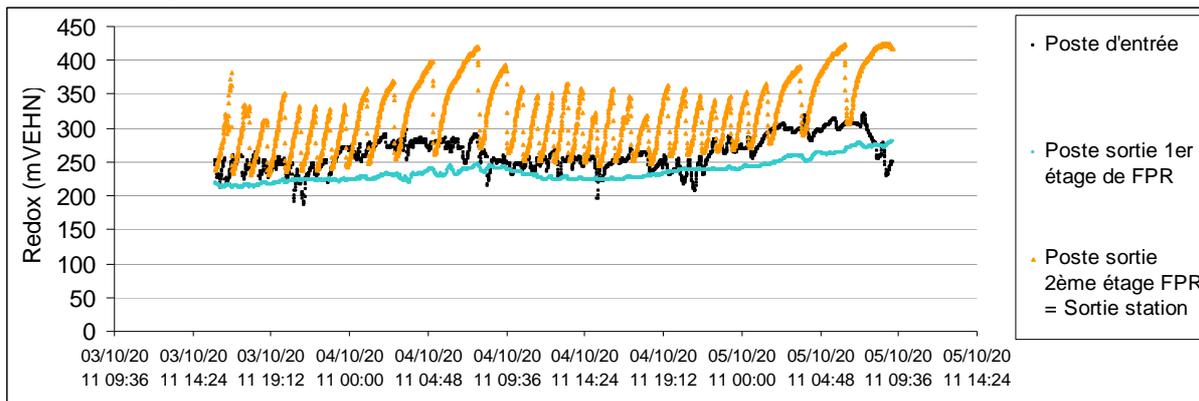
Lors de cette campagne, des mesures de teneurs en O₂ ont également été réalisées dans la couche superficielle non saturée du 1^{er} étage, sur les 3 lits et à des profondeurs comprises entre 0 et 20 cm.

Une campagne complémentaire de mesure de redox a été réalisée en septembre 2012 avec le suivi sur 24 h des fonds de filtre du 1^{er} et du 2^{ème} étage.

Ces mesures ont été accompagnées de bilan 24h sur les paramètres DCO, DBO₅, NK, NGL et Pt.

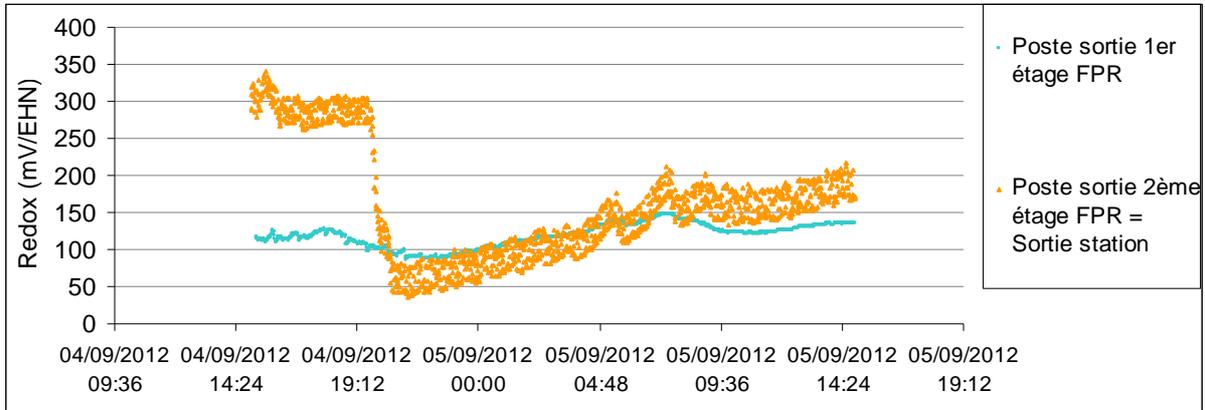
Les Graphique 12, Graphique 13 et Graphique 14 synthétisent les résultats.

Vercia, octobre 2011



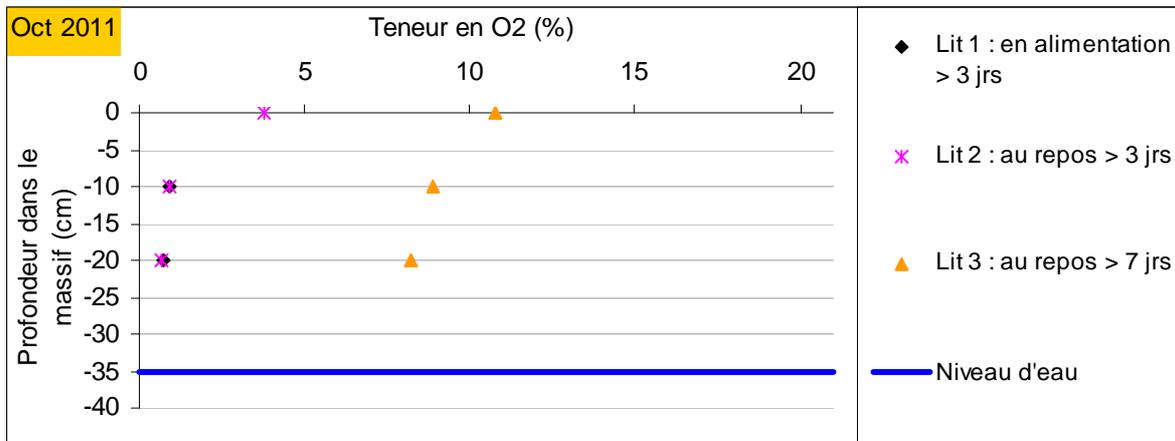
Graphique 12 : Evolution du potentiel redox lors des bilans 24h, Vercia (39), oct. 2011

Vercia, septembre 2012

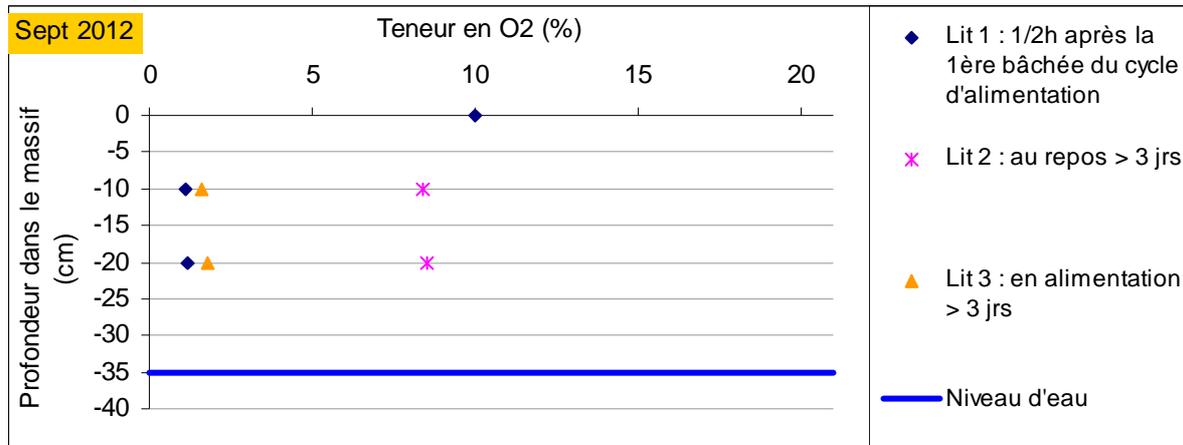


Graphique 13 : Evolution du potentiel redox lors des bilans 24h, Vercia (39), sept. 2012

Les mesures d'oxygène dans la couche non saturée du 1^{er} étage de traitement confirment une limitation en oxygène (Graphique 14 et Graphique 15). Les mesures de teneur en O₂ sur le lit en alimentation sont systématiquement mesurées une demi-heure après l'envoi d'une bâchée. Elles mettent en évidence une très faible oxygénation des lits dans l'ensemble, et une aération par le haut du lit du fait de la saturation en fond de filtre (niveau d'eau).



Graphique 14 : Teneurs en O₂ dans les gaz interstitiels à différentes profondeurs au sein des FPR, Vercia (39), octobre 2011



Graphique 15 : Teneurs en O₂ dans les gaz interstitiels à différentes profondeurs au sein des FPR, Vercia (39), septembre 2012

Ainsi, les mesures de teneurs en O₂ sur les lits en service et au repos témoignent d'une récupération partielle de l'oxygénation des lits sans que celle-ci atteigne son maximum.

La mise en place de drains de ventilation intermédiaires à l'interface zone non saturée-zone saturée ainsi que la réalisation de banchée de volume supérieur pourraient contribuer à améliorer les performances et la stabilité des rendements en NK.

Il est intéressant de noter que les performances de nitrification sont relativement importantes avec une moyenne de rendement de nitrification sur le 1^{er} étage de 75%, similaire à un premier étage de filtration classique. Ces performances présentent cependant une variabilité plus conséquente qui peut être mis en relation avec la présence de zones saturées en fond de massif de filtration.

Celles-ci conduisent à des niveaux d'oxydoréduction et de teneurs en O₂ plus bas que des filtres plantés de roseaux classiques comme le montrent les Graphique 12, Graphique 13 et Graphique 14 et Graphique 16.

Ces niveaux, constatés au sein du 1^{er} étage et recherchés par le constructeur pour assurer la dénitrification des eaux usées, pourraient contribuer à la limitation des performances de nitrification de la zone non saturée et par conséquent accentuer la variabilité des résultats.

Par ailleurs, les relevés de potentiels redox du 2^{ème} étage réalisés lors de la campagne de septembre 2012 montrent une chute brutale du potentiel suivie d'une croissance progressive.

Les conditions d'anoxie constatées sont à corréliser avec les spécificités de la conception de l'installation de Vercia. Les deux cellules du deuxième étage sont totalement isolées l'une de l'autre et la chute de potentiel est intervenue lors de l'alternance entre les cellules. La masse d'eau de la zone saturée de la cellule au repos n'est pas sollicitée par des flux traversiers pendant la période d'alimentation de l'autre cellule. Ceci conduit à l'installation de conditions anoxiques constatées sur le Graphique 13.

On peut également constater que le rédox ne baisse pas au point d'un passage en anaérobiose du massif (potentiel encore positif) ce qui peut être expliqué par les faibles

teneurs en DCO en entrée du filtre du 2^{ème} étage et qui reflète l'important travail des deux premières étapes du procédé sur la pollution carbonée.

Une fréquence de rotation des filtres ou un mode de drainage adapté pour limiter les zones mortes pourraient permettre d'améliorer la stabilité du fonctionnement et participer à une amélioration des performances.

Les mesures de potentiel redox de septembre 2012 en sortie de 1^{er} étage sont plus basses que celles de la campagne de mesures réalisée en 2011, pour des conditions d'alimentation relativement similaires en débit et charges polluantes. Septembre 2012 correspond à une période durant laquelle des défauts de fonctionnement du système d'alimentation du LB ont été observés (présence de sable bloquant la rotation du sprinkler). Les mesures réalisées mettent donc en évidence le rôle et l'importance du bon fonctionnement du lit bactérien dans le procédé Azoé.

L'écart de mesure observé en septembre 2012 entre le 1^{er} et le 2^{ème} étage peut s'expliquer partiellement par une réoxygénation de l'eau associée à la réalisation des bâchées.

V.5. Analyse des performances de dénitrification

V.5.1 Théorie cinétique de dénitrification sur les filtres horizontaux plantés de roseaux

La dégradation de la pollution par dénitrification sur filtres horizontaux est souvent représentée par le modèle k-C* proposé par Kadlec et Knight (1996⁴) pour les filtres plantés de roseaux horizontaux :

$$A = -\frac{Q}{k} \cdot \ln\left(\frac{C_{\text{out}} - C^*}{C_{\text{in}} - C^*}\right)$$

Où A est la section de passage dans les filtres horizontaux (hauteur immergée x largeur du filtre), C_{in} et C_{out} les concentrations entrée et sortie du paramètre suivi, C* une concentration limite apparente et k une constante cinétique d'abattement associée au polluant étudié.

Pour certains éléments comme NO₃, NH₄ ou P, pour lesquels la concentration limite apparente C* est proche de zéro, l'équation peut être réduite sous la forme suivante (IWA, 2000⁵) :

$$A = \frac{Q}{k} \cdot (\ln C_{\text{in}} - \ln C_{\text{out}})$$

Ces formules ne sont qu'empiriques en raison de la complexe interdépendance de C* et k avec de très nombreux facteurs associés à la conception et au fonctionnement de l'installation étudiée (type de matériau, âge de la station, type de végétaux, saisonnalité, charge hydraulique instantanée...) comme le montre Kadlec (2000⁶) et ne peuvent expliquer pleinement les performances observées sur les différents filtres horizontaux en service.

⁴ Kadlec R.H., Knight, R.L. (1996), *Treatment Wetlands* (Lewis Publishers, Boca Raton, Florida).

⁵ IWA, (2000), "Constructed wetlands for pollution control: Process, performance, design and operation." Scientific and technical report n°8 (IWA, 2000).

⁶ "The inadequacy of first-order treatment wetland models." *Ecological Engineering* 15 (2000) p.105:

Les calculs et comparaisons réalisés par la suite se limiteront à l'interprétation des performances en établissant un parallèle entre l'état de l'art sur les filtres horizontaux et les filtres verticaux saturés mis en œuvre dans le procédé Azoé.

V.5.2 Observations sur site

Les performances de dénitrification peuvent s'exprimer sur la base du NGL éliminé. Elles se calculent tout d'abord sur la base d'un bilan entrée-sortie (abattement global) mais sont précisées par l'analyse de l'élimination des nitrates formés par nitrification au sein de chaque étage de traitement. La nitrification étant importante sur les FPR, il est indispensable de prendre en considération cette production de NO₃ au sein des massifs.

Les rendements obtenus sont consignés dans les Tableau 12 et Tableau 13 pour des installations présentant des niveaux de saturation différents sur les deux étages de filtration. La dénitrification est considérée comme opérante sur chaque étage lorsque le rendement est supérieur à 50 % sur le paramètre NGL.

FPR1		Vercia 05/10/2011	Vercia 05/09/2012	Matour 29/09/2011	Bayel 27/07/2011
Sortie LB (mg/L)	NK	43,9	81,1	56,8	50,7
	N-NO ₃	20,7	0,45	0,68	1,15
	DCO	519	726	705	563
Sortie FPR1 (mg/L)	NK	8,2	30,1	4,8	18
	N-NO ₃	17,3	3,45	46,5	8,35
Rdmt NK (%)		81	63	92	64
N-NO ₃ produits (mg/L)		36	51	52	33
Ratio C/N		9,2	14,1	13,4	16,6
Rdmt NGL (%)		61	59	11	49
Rdmt denit réel (%)		69	93	12	75
Taux de saturation (%)		50	50	0	0
Temps de séjour (j)		1,5	1,3	0,0	0,0
k (m/an)		47	123	3	57

Tableau 12 : Paramètres de dénitrification sur FPR1 sur les stations de Vercia (39), Matour (71) et Bayel (10)

FPR2		Vercia	Vercia	Matour	Bayel
		05/10/2011	05/09/2012	29/09/2011	27/07/2011
Sortie LB (mg/L)	NK	8,2	30,1	4,8	18
	N-NO ₃	17,3	3,45	46,5	8,35
	DCO	67	55	46,4	80
Sortie FPR1 (mg/L)	NK	2,6	4,1	3	2,5
	N-NO ₃	14,8	4	50,6	23,2
Rdmt NK (%)		68	86	38	86
N-NO ₃ produits (mg/L)		36	6	26	2
Ratio C/N		2,9	1,9	1,0	3,4
Rdmt NGL (%)		32	76	0	2
Rdmt denit réel (%)		35	86	-5	3
Taux de saturation (%)		50	100	100	0
Temps de séjour (j)		1,5	1,5	1,3	0,0
k (m/an)		27	22	11	-33

Tableau 13 : Paramètres de dénitrification sur FPR2 sur les stations de Vercia (39), Matour (71) et Bayel (10)

Les détails des calculs des Tableau 12 et Tableau 13 sont inclus dans l'annexe 2.

Ces bilans mettent en avant des conditions différentes entre le premier et le second étage :

- La dénitrification est observée même pour des niveaux de saturation faibles du massif du 1^{er} étage mais avec une variabilité accrue de performances
- La saturation presque totale du massif du 2^{ème} étage est nécessaire afin d'observer une dénitrification sur cet étage. Dans ce cas, les cinétiques faibles du 2^{ème} étage sont certainement liées à un manque de carbone

Ces observations sont concordantes avec l'état de l'art sur les techniques de dénitrification biologique et dépendent des mêmes facteurs :

- Conditions anoxiques,
- Concentration minimale en DCO facilement assimilable,
- Ratio C/N favorable : ratio DCO/N-NO₃ > 4, avec N correspondant aux N-NO₃ éliminés et comprenant également les N-NO₃ produits par nitrification,
- Absence de court-circuit hydraulique,
- Temps de séjour suffisant.

Les constantes cinétiques calculées pour les filtres du 1^{er} étage de Vercia et Bayel (comprises en 47 et 123 m/an) présentent un ordre de grandeur similaire à la littérature (environ 50 m/an selon Kadlec, 1997⁷) et aux observations réalisées sur le filtre horizontal d'Evieu (45 m/an), tandis que ces mêmes constantes sont 2 fois à 3 fois plus faibles pour le 2^{ème} étage dans le cas d'une saturation totale.

La dénitrification sur le 1^{er} étage est opérante (> 50 %) même en cas de saturation du massif ≤ 50 %, mais semble variable selon les sites.

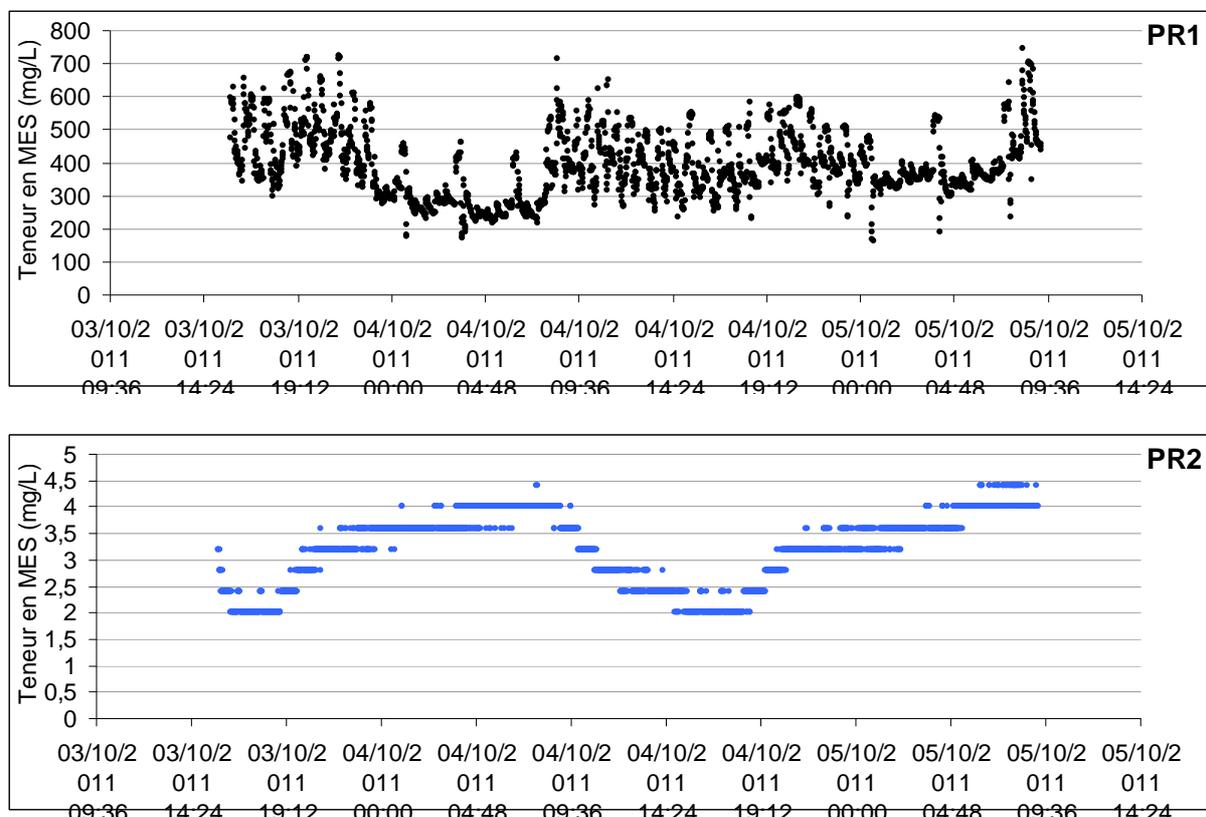
En revanche, au 2^{ème} étage elle ne semble opérante (> 50 %) que lorsque le massif est totalement saturé. Cela peut-être lié à plusieurs facteurs tels que la concentration en DCO d'entrée de filtre (doit être > 50 mg/L pour permettre un apport en carbone nécessaire à la

⁷ Kadlec R. H. (1997) « Deterministic and stochastic aspects of constructed wetland performance and design » Wat. Sci. Tech., n°35, p149-156.

dénitrification), le ratio C/N (doit être théoriquement > 4 selon Chiu et Chung, 2003⁸), l'absence de court-circuit hydraulique (temps de séjour > 1 jour), etc.

V.6. Rétention des MES

Lors d'une campagne 24h effectuée par Irstea (station de Vercia, oct 2011), un enregistrement en continu des MES en sortie LB (PR1) et sortie 1^{er} étage de FPR (PR2) a été mis en place. Les éléments du Graphique 16 montrent la bonne filtration du 1^{er} étage : les valeurs de sortie sont systématiquement inférieures à 5 mgMES/L (le lit comportait 15 à 20 cm de dépôt en surface). L'évolution de la teneur en MES dans le temps est peu liée aux bâchées du fait de la saturation du FPR1 à 50 %.



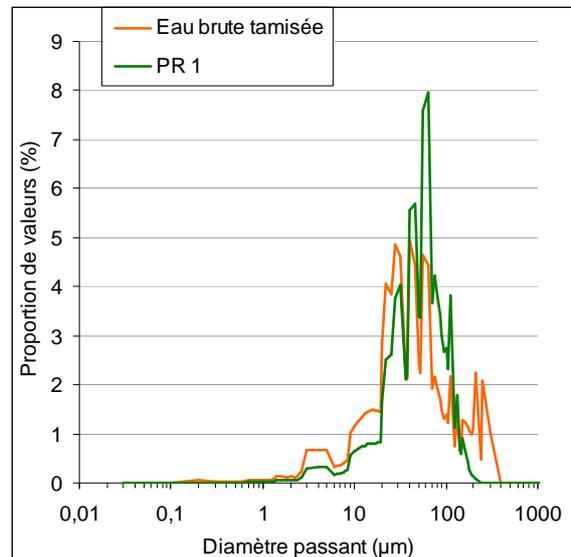
NOTA : Concentrations bilan 24h : MES PR1 = 421 mg/L ; MES PR2 = 2.7 mg/L.

Graphique 16 : Evolution des teneurs en MES en sortie du 1^{er} étage (PR1) et en aval du 2^{ème} étage (PR2) de FPR lors d'un bilan 24h, Vercia (39), oct. 2011

La granulométrie des MES (Graphique 17) montre que les MES (amas cellulaires) issus du lit bactérien sont autour de 100 µm et assez proches de ceux de l'eau usée brute (tamisée à 3 mm). On note un léger resserrement de la distribution du diamètre des particules vers des diamètres plus gros : le type de MES est légèrement modifié par le passage de l'effluent sur le LB.

Par la suite, la filtration sur FPR a été efficace puisqu'aucune mesure n'a été réalisable en sortie des étages de FPR (détection impossible).

⁸ Chiu Y.C., Chung M.S. (2003). Determination of optimal COD/nitrate ratio for biological denitrification. International Biodeterioration & Biodegradation 51, 43-49.



Graphique 17 : Analyse granulométrique des MES en amont et aval du LB (granulomètre laser)

V.7. Paramètres de gestion

Plusieurs réglages peuvent impacter les performances des filtres. Si le niveau de saturation a déjà été discuté sur le traitement de l'azote, il convient également de discuter de la gestion des alimentations.

En premier lieu on notera que le volume des bâchées produit une faible lame d'eau (entre 1 et 1.2 cm) sur les filtres. Une telle lame d'eau peut s'avérer difficile à répartir sur l'ensemble de la surface des filtres (risques d'utilisation non optimum du filtre), bien que cela n'ait pas été observé sur les stations suivies par Irstea. De plus, cela induit un nombre de bâchées important sur la journée (25 à 30 bâchées). Le choix de mettre en place des bâchées nombreuses et de faible volume peut permettre d'atteindre de bons niveaux de traitement en réduisant les court circuits en supposant :

- i) que la répartition sur la surface est correcte et,
- ii) que la teneur en oxygène dans le milieu est suffisante.

Or ces deux conditions ne sont pas optimales, laissant une marge de fonctionnement pour la stabilité des performances.

En ce qui concerne le nombre de jours d'alimentation, eut égard au peu de données disponibles (informations incomplètes), on ne peut mettre en avant d'impact de la durée des alimentations sur les performances du système.

Compte tenu des différents facteurs pouvant influencer les rendements (paramètres de gestion, mais aussi des facteurs externes comme la saison ou des facteurs liés à la conception ou l'âge du système), il est difficile de statuer sur le bien fondé des choix de gestion réalisés. Des études plus précises mériteraient d'être réalisées pour optimiser le système.

V.8. Accumulation des boues

La répartition des boues sur les filtres est homogène sur toute la surface (stations de Vercia et Bayel), témoignant d'une répartition efficace de l'effluent (distribution correcte).

Sur la station de Vercia, la hauteur de boues accumulée en septembre 2012 est de 16 cm sur chacun des filtres du 1^{er} étage, soit une accumulation moyenne de 2 cm/an. Cette station est chargée à 50 % en hydraulique et organique, mais elle possède un dimensionnement réduit sur le 1^{er} étage (0.55 m²/EH, au lieu de 1 m²/EH) : le taux d'accumulation de boues est donc proche des ratios classiquement observés en filtres plantés de roseaux. On ne note pas d'accumulation de boues sur le 2^{ème} étage de FPR.

La qualité des boues a été évaluée sur la station de Bayel. Le prélèvement a consisté à obtenir un échantillon homogène représentatif des 3 lits du 1^{er} étage (prélèvement d'un échantillon par lit). Ainsi, en juillet 2011, les taux de MS (siccité) et MV (matière organique) sont d'environ 20 et 52 % respectivement (moyenne sur tous les lits du 1^{er} étage, station en fonctionnement depuis moins de 3 ans), témoignant d'une assez bonne minéralisation des boues accumulées.

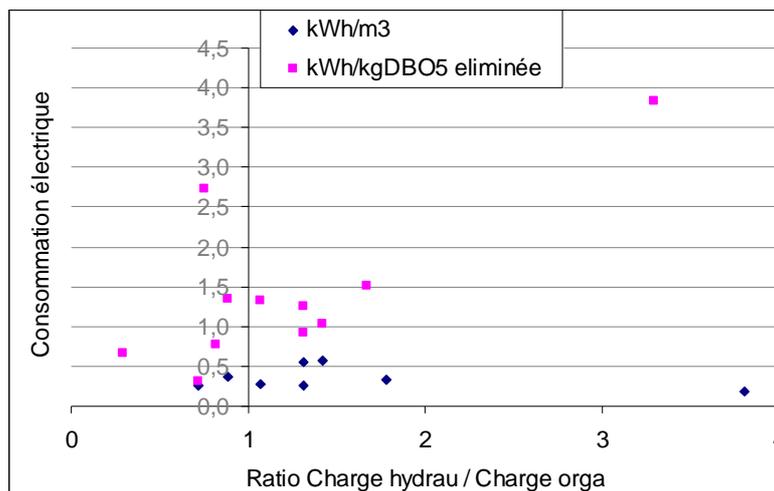
Les taux de MV des boues sont corrects par rapport à des boues d'un 1^{er} étage de FPR. Des études plus fines pourraient permettre de préciser les conditions d'optimisation et les vitesses d'accumulation à charge nominale.

VI. CONSOMMATION ENERGETIQUE

La consommation électrique est de l'ordre de 0.4 kWh/m³ d'eau traitée et 1 kWh/kg DBO₅ éliminée (Tableau 14 et Graphique 18) lorsque le taux de charge hydraulique est proche du taux de charge organique.

Conso. élec.	kWh/m ³	kWh/kg DBO ₅ éliminée
STEU		
min	0,2	0,3
Max	0,9	3,8
MOY	0,4	1,4
Ecart-type	0,2	1,0
Nb valeurs	11	11

Tableau 14 : Consommation énergétique



Nota : Le point bleu foncé en bas à droite correspond au bilan 24h sur Matour (71) de juin 2012

Graphique 18 : Consommation énergétique en fonction du ratio des taux de charges hydraulique/organique en entrée station

A titre de comparaison, une petite boue activée en aération prolongée présente une consommation d'au moins 0.6 kWh/m³ d'eau traitée et supérieure à 2 kWh/kg DBO₅ éliminée (FNDAE n°22⁹ avec une station de 400 EH pour exemple).

De même, une station de type filtres plantés de roseaux classique (500 EH, 2 postes de refoulement) consommerait au maximum 2700 kWh/an, soit au maximum environ 0.1 kWh/m³ (avec : station chargée à 100 %, coûts de valorisation agricole des boues compris) selon l'ARPE¹⁰.

⁹ FNDAE 22 (1998) Filières d'épuration adaptées aux petites collectivités, Document Technique, 96 p.

¹⁰ ARPE (2012) Les filtres plantés de roseaux en Provence-Alpes-Côte d'Azur, Dossier Technique n°1, 8 p.

VII. CONCLUSIONS

Cette étude a permis d'effectuer un premier retour d'expérience sur le procédé Azoé, en cours de développement depuis 2004 et comptabilisant aujourd'hui plus de 22 stations en France. Cette relative jeunesse des installations a plusieurs conséquences : l'ensemble des données récoltées est relativement faible (29 bilans 24h, dont seulement 6 avec prélèvements intermédiaires) et le taux de charge des stations est bas (les $\frac{3}{4}$ des 9 stations étudiées sont à charge hydraulique et organique < 50 %).

Ainsi, la variabilité des résultats obtenus lors de cette étude n'a pas toujours pu être confrontée aux charges reçues, et les limites du système ne sont donc pas pleinement connues.

Performances globales

Les performances d'élimination, au regard des faibles charges reçues, sont excellentes : 89 % en DCO, 96 % en DBO₅, 99 % en MES, 94 % en NK. On note que certains bilans (sur la station de Vercia notamment) se situent au-delà de la charge nominale et présentent également d'excellents résultats.

Sur le LB, les performances sur les paramètres dissous sont très bonnes, mais présentent une importante variabilité (par exemple 53 % de rendement sur la DBO₅, écart-type : 29). Les FPR présentent de très bons rendements globaux, typiques d'une station FPR classique, et assez peu variables. Il semble que le 1^{er} étage traite la grande majorité de la pollution, ce qui pourrait permettre une optimisation du dimensionnement du 2^{ème} étage dans le cadre du traitement de l'azote, voire de remettre en question son utilité en l'absence de contrainte sur l'azote.

Les niveaux de rejet atteints en sortie se révèlent très bas pour tous les bilans 24h étudiés, et les exigences de rejet sur l'azote (NK, NGL) sont toujours respectées. On précise également que l'adaptation du dimensionnement en fonction du niveau de rejet (nitrification, azote global) n'a pas pu être identifiée.

L'étude n'a pas permis d'évaluer les limites hydrauliques (temps de pluie) des ouvrages de traitement. Des analyses complémentaires sont nécessaires pour déterminer comment gérer les temps de pluie sur ce procédé.

LB

Le constructeur a fait le choix d'utiliser le lit bactérien comme prétraitement pour maintenir une pollution carbonée sur les étages avals (dénitrification). Ce choix permet également de limiter la consommation énergétique du système (0.4 kWh/m³ en moyenne). Les performances du lit bactérien pourraient potentiellement être optimisées en augmentant les charges hydrauliques appliquées aux valeurs de 2.5-3.5 m/h recommandées par Racault et Seguret, afin d'augmenter le mouillage et la capacité d'oxygénation.

Filtration

Concernant les MES, aucun décrochage de biomasse en lien avec l'augmentation des charges hydrauliques n'a été observé et les rendements sont très bons, toujours supérieurs à 95 %. Les deux étapes de filtration, dont l'étape finale sur sable, assurent une sécurité en termes de filtration.

Nitrification

Les performances sur le NK sont, à quelques exceptions-près, toujours supérieures à 90 %. Ainsi, même en cas de réseau séparatif court avec des eaux usées brutes concentrées

(≈ 100 mgNK/L, couramment rencontré en petites collectivités), le seuil de sortie de 10 mgNK/L est constaté et semble donc pouvoir être respecté.

La nitrification sur le 1^{er} étage de FPR pourrait être améliorée par un meilleur apport en O₂. Le filtre étant généralement saturé par le fond, l'apport d'O₂ ne peut se faire que par la surface. Or la quantité de boues accumulée et la forte fréquence de bâchées couplée à de faibles lames d'eau n'est pas favorable à un apport optimum en O₂. La mise en place de drains d'aération intermédiaires (en cas de saturation du fond du filtre) et/ou l'augmentation de la lame d'eau apportée à chaque bâchée (> 2 cm contre 1 cm actuellement) pourraient contribuer à améliorer l'oxygénation du massif et la distribution en surface.

Dénitrification

Suivant les exigences de rejet en NGL, les FPR sont saturés ou non : pour les stations avec un objectif azote, les rendements sont de 92 % sur le paramètre NGL (contre 42 % hors objectif azote). Ainsi, le niveau de saturation des FPR est de grande importance car on note une nette tendance au maintien de bonnes performances en NGL pour les stations concernées. Pourtant, le constructeur n'apporte pas de préconisation spécifique à chaque niveau de rejet exigé. L'étude a permis d'observer que les taux de saturation des FPR de 65/65 et 50/100 (% de saturation 1^{er}/2^{ème} étage) satisfont à un niveau de rejet < 30 mg/L en NGL. Le risque de manque de carbone pour la dénitrification reste une éventualité au regard du faible nombre de données récoltées dans cette étude : en cas d'objectif de dénitrification, il semble nécessaire de ne pas viser une nitrification poussée sur le premier étage de filtre pour apporter du carbone sur l'étage aval.

Déphosphatation

Si les concentrations de rejet sont majoritairement conformes aux exigences de rejet, des variations de performances engendrent parfois des dépassements pouvant être expliqués par les éléments suivants :

- On constate que les dispositifs de traitement physicochimique du P ne sont pas toujours bien entretenus ni rechargés en chlorure ferrique par les chargés d'exploitation communaux, d'où la variabilité des résultats sur les stations concernées. La bonne gestion de l'ouvrage de déphosphatation (approvisionnement en FeCl₃, réglage de la pompe doseuse) est donc nécessaire ;
- Les analyses, bien que réalisées par des bilans 24 h, représentent un fonctionnement « ponctuel » dans la vie de la station. Les conditions susceptibles de provoquer un relargage des orthophosphates (anaérobiose, surcharges hydrauliques, etc.) doivent être identifiées afin d'évaluer les conditions limites de stabilité du processus. Un travail de recherche est actuellement en cours sur ce point entre l'INSA de Lyon, la société SCIRPE et Irstea pour préciser les modalités d'un tel phénomène et limites du système.

On notera cependant que la concentration de sortie ne doit pas nécessairement être atteinte pour assurer la conformité du rejet. Ainsi, les niveaux de rejet requis pour le paramètre P sont variables d'une station à l'autre (exprimés en concentration ou rendement).

Au regard du nombre limité de données, des retours supplémentaires seraient nécessaires pour bien fixer le niveau minimal de concentration en P garantissable par le procédé.

Perspectives

Les différentes voies de fiabilisation du niveau de rejet mentionnées dans ce rapport mériteraient d'être étudiées et appuyées par des mesures plus détaillées (traçages, analyses en continu, etc.), mais n'entrant plus dans une logique d'évaluation de procédé mais d'optimisation et développement.

Annexes

1 / Liste des stations Azoé (2012)

2 / Détails de calculs

3 / Données utilisées pour la présente étude

4 / Caractéristiques des eaux usées brutes étudiées

1 / LISTE DES STATIONS AZOE (2012)

Station	Dpt	Mise en service	Capacité (EH)	AZOE	AZOE-N	AZOE-P	AZOE-NP
Brenod	1	2007	1200	x			
Champfromier	1	2010	1000	x			
Neuville les Dames	1	2011	1600	x			
Bayel	10	2009	1200				x
Bouze-lès-Beaune	21	2012	1520		x		
Pommiers de Beaurepaire	38	2010	800		x		
Vercia et Rotalier	39	2004	1100				x
Briod	39	2006	200				x
Crançot	39	2006	600				x
Vincelles et Sainte Agnès	39	2006	900				x
Beaufort-Orbagna	39	2010	3500				x
Mignovillard	39	2011	800				x
Cressia	39	2011	500				x
Nogna	39	2010	300				x
Petit Noir	39	2012	1500			x	
Gevingey	39	2012	900				x
Chalmazel	42	2007	1040	x			
Aveize	69	2011	550				x
Corcelles en Beaujeolais	69	2012	1100		x		
Andelarre	70	2012	510			x	
Matour	71	2010	1600			x	
Minzier	74	2010	1000	x			

2 / DETAILS DE CALCULS

Tableau 2 : Exemples de dimensionnement et fonctionnement du LB sur 2 stations Azoé

- Le calcul du taux de recirculation moyen est le suivant :
 $Tx \text{ recirc.} = Q \text{ effectif de la pompe du LB (m}^3/\text{j)} / (\text{Eau du poste recirculée (\%)} \times Q \text{ eau brute (m}^3/\text{j)})$
 Avec : $Q \text{ effectif de la pompe du LB (m}^3/\text{j)} = \text{Hauteur de fonctionnement du LB (\%)} \times Q \text{ pompe du LB (m}^3/\text{h)} \times 24$
- Le calcul de la charge hydraulique appliquée sur le LB est le suivant :
 $CH \text{ appliquée sur LB (m/j)} = Q \text{ admis sur LB (m}^3/\text{j)} / \text{Surface horizontale du LB (m}^2)$
- La charge organique en N appliquée est calculée sur la base de la surface développée par le matériau ($100 \text{ m}^2/\text{m}^3$).

Tableau 11 : Concentrations en entrées et sorties des FPR

Tableau 12 : Paramètres de dénitrification sur FPR1 sur les stations de Vercia (39), Matour (71) et Bayel (10)

- Les nitrates produits sont basés sur le rendement de nitrification (NK) constaté lors du bilan sur l'étage de FPR concerné.
 $N\text{-NO}_3\text{produits (mg/L)} = NK\text{entrée (mg/L)} \times R\text{dmt NK sur l'étage de FPR (\%)} / 100$
- Le rendement de dénitrification comprend le rendement calculé sur le NGL, mais également les nitrates produits au sein du système et ayant été dénitrifiés
 $R\text{dmt dénit réel (\%)} = 100 - [N\text{-NO}_3\text{sortie (mg/L)} \times 100 / [N\text{-NO}_3\text{entrée (mg/L)} + N\text{-NO}_3\text{produits (mg/L)}]]$
- Le ratio C/N correspond au ratio DCO/N-NO₃ en entrée de l'étage de FPR, en intégrant les nitrates produits par nitrification au sein du système.
 $\text{Ratio C/N} = \text{DCOentrée (mg/L)} / [N\text{-NO}_3\text{entrée (mg/L)} + N\text{-NO}_3\text{produits (mg/L)}]$
- Le temps de séjour indiqué ici est théorique, dans la partie saturée des filtres, et basé sur le débit mesuré lors du bilan :
 $Ts (j) = \text{Volume d'eau libre dans le massif (m}^3) \times Q\text{entrée station mesuré (m}^3/\text{j)}$,
 Avec le volume d'eau libre estimé grâce au volume de matériaux dans le filtre (hauteur de 0.8 m), au taux de saturation du filtre, et en considérant une porosité de 40 %.
- La constante cinétique k est calculée par itération grâce à la formule citée en partie V.5.1 :
 $k \text{ (m/an)} = [\ln[N\text{-NO}_3\text{sortie (mg/L)}] - \ln[N\text{-NO}_3\text{sortie (mg/L)} + N\text{-NO}_3\text{produits (mg/L)}]] / [\text{Surface de filtres (m}^2) / Q\text{entrée station mesuré (m}^3/\text{j)}] \times 365$
 Avec : Vercia : A = FPR2 300 m², Q = 65.6 m³/j le 05/10/2011 et 75 m³/j le 05/09/2012.
 Matour : A = FPR2 730 m², Q = 95.3 m³/j. Bayel : A = FPR2 300 m², Q = 67 m³/j.

3 / DONNEES UTILISEES POUR LA PRESENTE ETUDE

Station	Date	Q m3/j	CH %	CO %	ENTREE station (mg/L) = BRUT (mg/L)						SORTIE LB (mg/L)							
					DCO	DBO5	MES	NNH4	NK	NNO3	Pt	DCO	DBO5	MES	NNH4	NK	NNO3	Pt
Brenod	04/10/2007	157	87	23	214	99	72		9,7							2,51		
	08/07/2009	210	117	162	1062	610	370		39							9,4		
	28/10/2009	150	83	59	603	250	180		45							6,8		
	14/12/2010	95	53	49	732	440	200		39							7,1		
	08/06/2010	125	69	53	576	220	320		40							6,7		
	21/04/2011	84	47	53	989	410	260		54,9									
	28/06/2011	135	75	57	516	410	190		36,6							5,53		
Neuville les Dames	08/06/2011	202	84	47	385	140	296		39							4,7		
	29/11/2011	96	40	49	956	430	396	70,5	98	0,23						10,7		
Beaufort-Orbagna	17/01/2011	325	57	45	121	25	1000											
	01/02/2011	281	49	14	178	93	150		26							3,3		
	16/03/2011	609	107	41	288	100	170											
	11/04/2011	440	77	22	227	74	110											
	21/05/2011	169	30	40	1085	370	510											
	05/06/2011	287	50	18	298	67	170		34							11,2		
	11/07/2011				647	149	160											
	21/09/2011	149	26	17	543	160	270		59							7,4		
	14/10/2011	124	22	11	455	130	180											
	08/11/2011	370	65	9	88	42	70		19							2,17		
18/12/2011	421	74	6	44	17	67												
Crançot	24/10/2007				600	330	230											
Vincelles	19/11/2009				169	55	68		38							4,07		
	11/07/2011				630	122	250											
	21/09/2011	94,5	70	58	702	160	360		51									
	25/10/2011				152	38	70											
Vercia et Rotallier	24/03/2010				607	180	340		82							9,33		
	05/10/2011	65,6	40	136	2470	1018	1534	70,7	139	0,45						22,4		
	16/03/2011	83,8	51	115	1518	490	1300		90									
	11/07/2011	86	52	17	280	88	120											
	27/09/2011	74	45	159	2989	920	1300		90									
	25/10/2011	65	39	45	839	300	550		72							10,3		
05/09/2012	75	45	48	1023		536	60,2	96,3	0,45									
Chalmazel	17/07/2008	58	37	6	140	55	52	12	25	1,2	2,5							
Matour	31/05/2011	179,4	75	45	439	140	296		54,8							6,9		
	29/09/2011	95,3	40	30	671	270	172	45	65	0,45	7,6					7,6		
	28/06/2012	188	78	24	244	71	130		33,8		4,1					4,1		
Bayel	27/07/2011	67	37	50	1132	341	481	74,2	100	0,45	11,8	563	147	381	23,1	50,7	1,15	11

Station	Date	Q m3/j	CH %	CO %	SORTIE FPR 1 (mg/L)						SORTIE FPR 2 (mg/L) = sortie station							
					DCO	DBO5	MES	NNH4	NK	NNO3	Pt	DCO	DBO5	MES	NNH4	NK	NNO3	Pt
Brenod	04/10/2007	157	87									61	4	3		3	2,08	1,3
	08/07/2009	210	117									30	3	2	0,1	1,4	125	
	28/10/2009	150	83									30	3	3	0,1	0,9	56,7	2,2
	14/12/2010	95	53									42	7	7		1,5		2
	08/06/2010	125	69									44	3,1	4	0,1	1,2	21	6,3
	21/04/2011	84	47									32	3	2	0,16	1,1	15,4	4
	28/06/2011	135	75									33	3	3	0,16	1,1	33,8	5,9
Neuville les Dames	08/06/2011	202	84									35	3	3	0,4	1	22,5	3,2
	29/11/2011	96	40									30	3	2	0,16	1,9	31,6	5,9
Beaufort-Orbagna	17/01/2011	325	57									30	4	2				
	01/02/2011	281	49									30	3	2		1,2		0,9
	16/03/2011	609	107									30	4	2				
	11/04/2011	440	77									30	3	2,5				
	21/05/2011	169	30									37	4	4,5				
	05/06/2011	287	50									30	3	2		1		1,7
	11/07/2011											30	3	2		1,9	8,81	1,9
	21/09/2011	149	26									37	9	3,5		2,9		2,6
	14/10/2011	124	22									30	3	2				
	08/11/2011	370	65									30	3	2		4,96		2,6
18/12/2011	421	74									30	3	2					
Crançot	24/10/2007											30	3	2		0,8	57,1	1,4
Vincelles	19/11/2009											30	3	2		1		2,3
	11/07/2011											30	3	2		6,6	40	2,2
	21/09/2011	94,5	70									30	3	2		2,3		
	25/10/2011											30	3	2		1,6	14,23	1,7
Vercia et Rotallier	24/03/2010											31	3	2		3,4		7,1
	05/10/2011	65,6	40		67	19	2,7	6,7	8,2	17,3	4,15	34	6,7	8,7	1,15	2,6	14,8	2,4
	16/03/2011	83,8	51									30	3	2		1		
	11/07/2011	86	52									20	3	2		3,7		1,3
	27/09/2011	74	45									30	3	2		1		
	25/10/2011	65	39									30	3	2		1,8		2,3
05/09/2012	75	45		55		23	26,2	30,1	3,45		30	3	5,6	3,5	4,1	4		
Chalmazel	17/07/2008	58	37									30	3	2	2	1	16,3	1,1
Matour	31/05/2011	179,4	75									36	4	3,4	0,78	3	44,5	3,6
	29/09/2011	95,3	40		46,4	3	15	3,34	4,8	46,5	1,5	30	3	2	0,78	3	50,6	1
	28/06/2012	188	78									30	3	2	0,78	3	20,57	1,3
Bayel	27/07/2011	67	37		80		15	13,2	18	8,35	7,3	76	19	10	0,05	2,5	23,2	6,8

NOTA Lors du bilan 24h réalisé à Vercia le 24/03/2010, la pompe d'injection du FeCl₃ était en panne.
 Lors du bilan 24h réalisé à Vercia le 05/09/2012, le sprinkler du LB était parfois bloqué.
 Lors du bilan 24h réalisé à Matour le 31/05/2011, le FeCl₃ n'était pas injecté durant la période mesure.

4 / CARACTERISTIQUES DES EAUX USEES BRUTES ETUDIEES

	Ratio DCO/DBO ₅	Ratio (DCO _{brute} - DCO _{dissoute}) / MES *
EB		
min	1,3	1,4
Max	5,2	1,5
Moy	2,9	1,5
Ecart-type	0,9	0,0
Nb val	37	3

* Correspond au ratio DCO_{particulaire} / MES



Partenariat 2012
Domaine Ecotechnologie et Pollutions
Action 50 - Sous-action 50-3
Conception et exploitation des stations des petites et moyennes collectivités (EPNAC)



Onema
Hall C – Le Nadar
5 square Félix Nadar
94300 Vincennes
01 45 14 36 00
www.onema.fr

Irstea – Centre de Lyon-Villeurbanne
5, rue de la Doua
CS 70077
92626 Villeurbanne Cedex
04 72 20 87 87
www.irstea.fr