

COLLECTIVITE DEPARTEMENTALE DE MAYOTTE



SUIVI EXPERIMENTAL DES FILTRES PLANTES  
de HACHENOUA et de TOTROSSA  
MAYOTTE 2006-2010



RAPPORT FINAL

Septembre 2010



# SOMMAIRE

<b>1</b>	<b>CONTEXTE ET PRESENTATION</b> .....	<b>2</b>
1.1	PRESENTATION / CONTEXTE .....	2
1.2	PARTENAIRES / CONVENTIONS SINT ET CEMAGREF.....	3
1.2.1	<i>Partenaires financiers</i> .....	3
1.2.2	<i>Partenaires techniques</i> .....	3
<b>2</b>	<b>DESCRIPTIF DES STATIONS</b> .....	<b>4</b>
2.1	STATION D'HACHENOUA.....	4
2.2	STATION DE TOTOROSSA .....	6
<b>3</b>	<b>DESCRIPTIF DU SUIVI</b> .....	<b>9</b>
3.1.1	<i>Descriptif du suivi de Totorossa</i> .....	9
3.1.2	<i>Descriptif du suivi de Hachenoua</i> .....	10
<b>4</b>	<b>SYNTHESE ET RESULTATS DU SUIVI EXPERIMENTAL (EXTRAIT DE LA PUBLICATION AU XII<sup>EME</sup> CONGRES IWA DE VENISE)</b> .....	<b>12</b>
4.1	STATION DE HACHENOUA .....	12
4.1.1	<i>CONTEXTE ET OBJECTIFS</i> .....	12
4.1.2	<i>SYNTHESE DES RESULTATS DU SUIVI</i> .....	13
4.2	STATION DE TOTOROSSA .....	16
4.3	SYNTHESES DU FONCTIONNEMENT DES DEUX STATIONS .....	17
<b>5</b>	<b>MOYENS MIS EN ŒUVRE</b> .....	<b>20</b>
5.1.1	<i>Moyens humains du SIEAM</i> .....	20
5.1.2	<i>Moyens logistiques du SIEAM</i> .....	20
5.1.3	<i>Partenaires techniques</i> .....	21
5.2	PRINCIPALES DIFFICULTES RENCONTREES ET ACTIONS .....	21
5.2.1	<i>Rétrocession des ouvrages et foncier</i> .....	21
5.2.2	<i>Exploitation / dysfonctionnement</i> .....	21
5.2.3	<i>Prolifération des moustiques sur la station de Totorossa</i> .....	22
5.2.4	<i>Analyse des composants azotés au laboratoire du SIEAM</i> .....	22
<b>6</b>	<b>PRESCRIPTIONS CONSTRUCTIVES DES FILTRES PLANTES A MAYOTTE</b> .....	<b>23</b>
<b>7</b>	<b>PRESCRIPTIONS D'EXPLOITATION DES FILTRES PLANTES A MAYOTTE (EXTRAIT DE LA PUBLICATION AU XII<sup>EME</sup> CONGRES IWA DE VENISE)</b> .....	<b>24</b>
7.1	STATION DE HACHENOUA .....	24
7.2	STATION DE TOTOROSSA .....	25
<b>8</b>	<b>POINT FINANCIER</b> .....	<b>27</b>
<b>9</b>	<b>CONCLUSION (CONCLUSION DE L'EXTRAIT DE LA PUBLICATION AU XII<sup>EME</sup> CONGRES IWA DE VENISE)</b> .....	<b>28</b>
	<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES CITEES</b> .....	<b>30</b>
	<b>ANNEXES</b> .....	<b>31</b>

# 1 CONTEXTE ET PRESENTATION

## 1.1 *Présentation / Contexte*

Deux filtres plantés en vue de l'épuration des eaux usées ont été réalisés à Mayotte sur les sites de Totorossa (Commune de Dzaoudzi-Labattoir en Petite Terre) et Hachenoua (commune de Tsingoni – Grande Terre). Les installations ont été mises en eau en octobre 2005 pour celle de Totorossa et en avril 2006 pour celle de Hachenoua.

En septembre 2006, le résultat des premières mesures et analyses, réalisées de janvier à septembre 2006 pour Totorossa et de juin à septembre 2006 pour Hachenoua était présenté par la SINT et le Cemagref à la 10<sup>ème</sup> conférence de l'IWA [International Water Association] sur les filtres plantés à Lisbonne, avec un succès important, lié au fait que ces projets innovants du point de vue des substrats et plantes retenus pour l'épuration donnaient des résultats très encourageants, avec des dimensionnements plus faibles que ceux habituellement retenus en métropole.

Une publication devait être rédigée pour présentation conférence en Inde en novembre 2008 mais, face aux manques de données, il a été décidé de prolonger le suivi et de recadrer le programme pour les années 2008 à 2010.

Le présent rapport a pour objet de :

- présenter un historique des deux stations filtres plantés et de leurs suivis
- faire un bilan de l'ensemble des suivis des deux stations
- présenter les résultats de ces suivis
- définir le dimensionnement et les règles de conception des filtres plantés les plus adaptées au contexte de Mayotte
- et d'établir les prescriptions d'exploitation des filtres plantés déjà construits.

## 1.2 PARTENAIRES / CONVENTIONS SINT et Cemagref

### 1.2.1 Partenaires financiers

Le présent suivi a fait l'objet d'un financement du Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire (MEEDAT) via deux subventions BOP 181 (ex FNSE) :

- Arrêté DAF/SEAU N°014 du 27 février 2007 : 50 000,00 € portant attribution d'une subvention au Syndicat Intercommunal d'Eau et d'Assainissement de Mayotte (SIEAM) pour la modification des filtres plantés de Totorossa et Hachenoua en vue du renforcement du suivi et du mode expérimental.
- Arrêté DAF/SEAU N°015 du 27 février 2007 : 40 000,00 € portant attribution d'une subvention au Syndicat Intercommunal d'Eau et d'Assainissement de Mayotte (SIEAM) pour la modification des filtres plantés de Totorossa et Hachenoua en vue du calage des dimensionnements, dispositions constructives et consignes d'exploitation à Mayotte.

Le montant total de la subvention alloué au suivi des filtres plantés est donc de 90 000,00 €

### 1.2.2 Partenaires techniques

Les objectifs de la réalisation de ces pilotes sont les suivants :

- tester les performances de ces systèmes en climat tropical afin d'aboutir à un dimensionnement de ce type de filière (le dimensionnement peut être optimisé - climat très favorable à ce type de traitement - afin de réduire la surface, principale contrainte),
- tester les matériaux de l'île,
- tester les plantes de l'île.

Afin de pouvoir répondre efficacement à ces objectifs, le SIEAM a sollicité l'appui d'experts du Cemagref et de la SINT. Deux conventions ont donc été établies entre le SIEAM et le CEMARGEF et le SIEAM et la SINT (voir conventions en annexes).

## 2 DESCRIPTIF DES STATIONS

### 2.1 Station d'Hachenoua

Le lotissement de Hachenoua est un lotissement SIM (Société Immobilière de Mayotte) composé de 26 logements de type T4/T5 (on estime en moyenne à 4 habitants par logement). Ce lotissement a été choisi pour y implanter une station expérimentale de type filtres plantés à écoulement vertical avec recirculation réglable car l'ancien système d'assainissement présentait de graves dysfonctionnements. De plus, l'ensemble des branchements étaient déjà réalisés ce qui permettait de pouvoir faire fonctionner la station immédiatement.

La station de Hachenoua est composée de deux filtres de 81 m<sup>2</sup> chacun, à percolation verticale, non saturés en eau, avec une réserve foncière permettant le rajout éventuel d'un troisième lit, si nécessaire. Les lits sont alimentés avec des eaux brutes à partir de pompes placées dans l'ancienne station (mini Boue Activée), transformée en poste de refoulement avec un débit de 50 m<sup>3</sup>/h environ et dont le réglage des poires de niveau permet la réalisation de bâchées d'environ 2 m<sup>3</sup>. De plus, un agitateur, (flash vulve installé sur la pompe) permet de brasser les eaux avant de les pomper vers les filtres.

Ces derniers sont constitués, du haut vers le bas :

- d'une épaisseur de 0,8 m de matériau de type gravillons 4/6 mm basaltique, posée sur
- une couche de transition de 10 à 20 cm de gravier 6/10 mm,
- d'une couche drainante composée de 15 cm de graviers plus gossiers de 20/40 mm.

La couche filtrante superficielle, la plus active est pourvue d'une aération intermédiaire constituée de 4 conduites de diamètre DN 100 reliées à une cheminée d'aération de chaque côté). Les filtres sont plantés de *Thypha angustifolia* et de quelques pieds de *Thysanolaena maxima* dont il conviendrait d'ailleurs d'augmenter la densité.

Après une première filtration, les eaux drainées passent dans un regard de répartition avec un seuil dentelé modulable, qui permet de renvoyer une partie des eaux en tête de la station et d'envoyer une autre partie vers un canal de comptage équipé d'un seuil en V, puis vers un deux bassins d'infiltration, alimentés en alternance chaque semaine comme les filtres. Ceci permet en théorie, en déplaçant une lame de partage du seuil, de régler le taux de recirculation à 100, 200 ou 300 %.

A l'origine, la station a été dimensionnée pour 160 EH métropolitains, et donc avec une surface filtrante de 1 m<sup>2</sup> par EH. La station a été achevée en avril 2006.

Suite aux premières mesures, notamment de la consommation d'eau potable, qui ont démontré une charge réelle de 50 EH seulement et des premières analyses, qui ont montré de bons résultats, des travaux ont été décidés, en été 2006, de ne laisser un seul lit en fonctionnement et de le partager en deux parties, avec un vannage permettant de n'alimenter que la moitié d'un lit à la fois. Une séparation superficielle plongeant à une trentaine de cm sous la surface permet donc de disposer de deux fois 40,5 m<sup>2</sup> de surface de filtres, ce qui a ramené la surface spécifique réelle à 1,6 m<sup>2</sup> par EH (les suivis réalisés à partir de 2007 ont montré une consommation en eau potable équivalent à 104 habitants ramenant le dimensionnement à environ 0,78 m<sup>2</sup>/EHm).

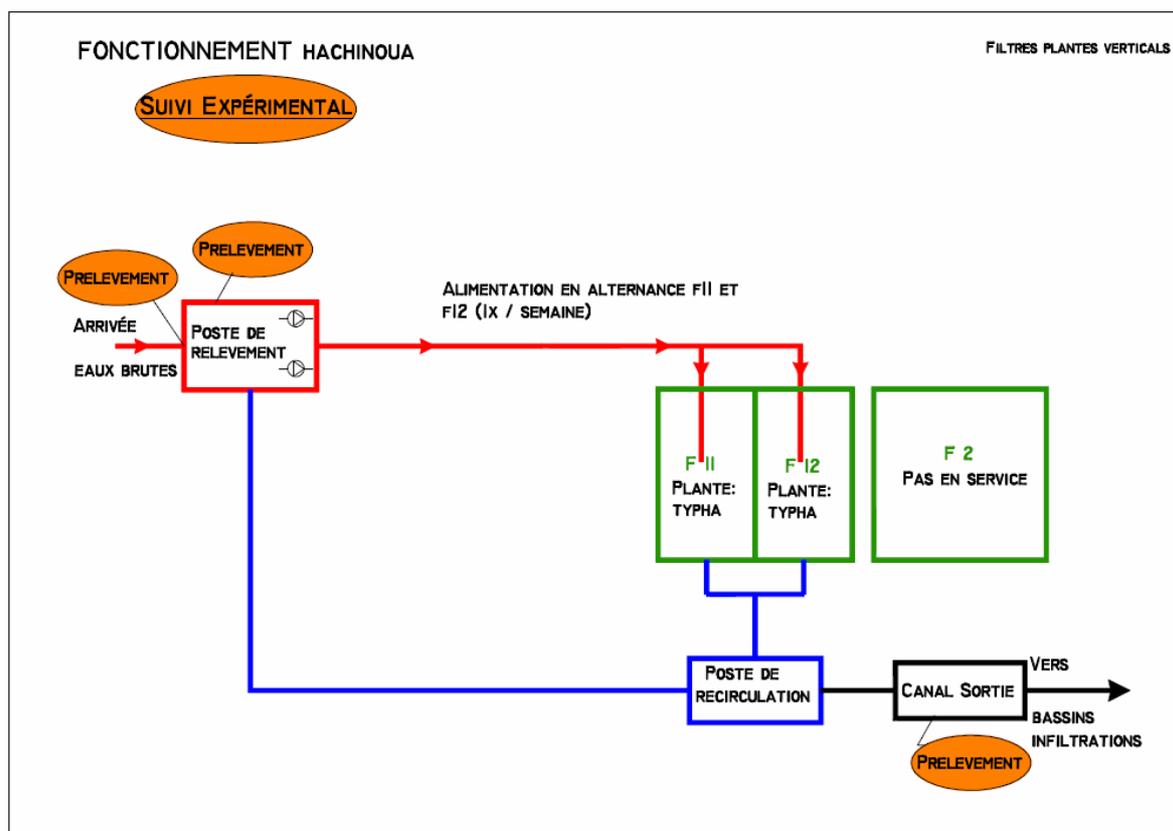


Figure 1 : Plan schématique de la station d'Hachenoua et des points de prélèvement



Novembre 2008



Février 2009



Juin 2008

Figure 2 : Photos de la station d'Hachenoua à diverses dates

### Arguments retenus pour la conception de cette station

Outre la gestion très simplifiée des boues qui fait le succès des filtres plantés de roseaux [FPR] alimentés en eaux usées brutes en métropole, l'objectif recherché en proposant la construction de cette station à Mayotte était d'intensifier les processus épuratoires qui se déroulent dans les filtres du 1<sup>er</sup> étage afin d'obtenir la meilleure qualité d'effluent sur un espace aussi restreint que possible pour tenir compte de l'importante pression foncière qui règne sur l'île.

De plus, on ne trouve pas localement de sable grossier tel qu'il est utilisé pour la confection d'un second étage en France métropolitaine. Le sable, issu de roches concassées à Mayotte comporte beaucoup de fines et ne peut pas être utilisé pour un second étage de filtres plantés de roseaux, dimensionné selon les règles françaises à 0,8 m<sup>2</sup> par EH (Molle et al. 2005) sans

risquer de colmater assez rapidement. La conception traditionnelle de 2 étages en série à écoulement vertical n'était donc pas transférable tel quelle à Mayotte, en n'utilisant que des matériaux locaux.

## 2.2 Station de Totorossa

Le lotissement de Totorossa est un lotissement SIM (Société Immobilière de Mayotte) composée de 25 logements de type T3/T4 (on estime en moyenne à 3 habitants par logement). Ce lotissement a été choisi pour y implanter une station expérimentale à filtres plantés car l'ancien système d'assainissement de type « mini boues activées » présentait de graves dysfonctionnements qui se traduisaient notamment par un colmatage du système d'infiltration placé en aval et un important flaquage, source de nuisances pour le voisinage. De plus, l'ensemble des branchements étaient déjà réalisés ce qui permettaient de pouvoir faire fonctionner la station immédiatement.

La station de Totorossa est composée :

- d'un décanteur-digester « Mayotte-Plastiques de type DD 125 conçu pour 145 EH (à raison d'un flux de 150 L/EH) réalisé en résine polyester. La surface utile de la partie décanteur est de 4,6 m<sup>2</sup>, ce qui permet au débit de pointe (facteur 4 par rapport au débit moyen horaire sur la journée) d'atteindre une vitesse ascensionnelle maximale d'environ 0,8 m/h. Le volume du digesteur est de 7,6 m<sup>3</sup> et avec un volume spécifique de boues primaires de 0,5 L/EH cela permet d'atteindre un temps de retention des boues dans l'ouvrage d'environ 100 jours. Considérant qu'en climat tropical, la digestion anaérobie peut s'effectuer en une trentaine de jours, cela permet d'envisager une fréquence de vidange d'approximativement 3 mois.
- d'un poste de refoulement équipé de 2 pompes d'une puissance. Leur fonctionnement est commandé par un jeu de poires de niveau réglables et actuellement le volume de chaque bâchée est d'environ 0,768 m<sup>3</sup>,
- et, à l'origine, de trois filtres à écoulement horizontal en parallèle d'une surface unitaire de 150 m<sup>2</sup> chacun. Les filtres ont été remplis de 0,60 à 0,70 m de pouzzolane assez grossière et hétérogène, récupérée dans une carrière désaffectée proche du site. Les filtres sont saturés d'eau jusqu'à environ 5 cm sous la surface pendant leur fonctionnement et ils ont été plantés de diverses espèces végétales
  - de *Thysalanea maxima* pour le lit A, avec quelques pieds de *Papyrus*
  - de *Dieffenbachia* et d'une rangée de *Canna* pour le B ;
  - de *Thypha* pour le lit C.

Après passage dans un canal de comptage équipé d'un seuil en V, les eaux traitées sont envoyées gravitairement vers un réseau d'épandage souterrain.

A l'origine, la station a été dimensionnée pour 150 EH métropolitain, ce qui correspond à une surface filtrante spécifique de 3 m<sup>2</sup> par EH métropolitain. La station a été achevée en décembre 2005.

Suite aux premières mesures, notamment de la consommation d'eau potable, qui ont démontré une charge réelle de 74 EH et des premiers analyses, qui ont montré de très bons résultats, il a été décidé, au cours de l'été 2006 de ne laisser qu'un lit en fonctionnement (le lit B, planté de *Dieffenbachia*), ce qui a ramené la charge réelles à 2 m<sup>2</sup> par EH. En 2007, il a été décidé de faire passer les effluents dans un premier lit (lit C planté de *Typha*) puis dans un

second lit (lit B planté de *Dieffenbachia*). Cet aménagement a nécessité la mise en place d'un poste de refoulement intermédiaire.

En 2009, à la demande de la DASS, des travaux ont été réalisés afin de réduire tout risque de développement de gîtes larvaires pour les moustiques :

- destruction des plantes *Dieffenbachia* présentant des petits volumes d'eau situé au niveau de l'implantation des feuilles sur la tige,
- mise en œuvre de matériaux fins (2/6 mm) à la surface du filtre pour empêcher les moustiques de pouvoir accéder à l'eau libre dans les interstices de la pouzzolane,
- Aménagements permettant de supprimer toutes les zones présentant des stagnations d'eau,
- Mise en place de grillage anti-moustique aux endroits où il est impossible de supprimer toute stagnation d'eau susceptible d'être colonisée par les moustiques (aération des postes de refoulement, canal de sortie, ...)

Ces travaux ont également été l'occasion de réaliser d'autres travaux nécessaires suite à la constatation de dysfonctionnement sur la station avec notamment :

- reprise de l'armoire de commande des pompes de refoulement
- reprise du regard intermédiaire présentant des fuites

Enfin, le lit B a été replanté avec des *Typha*.

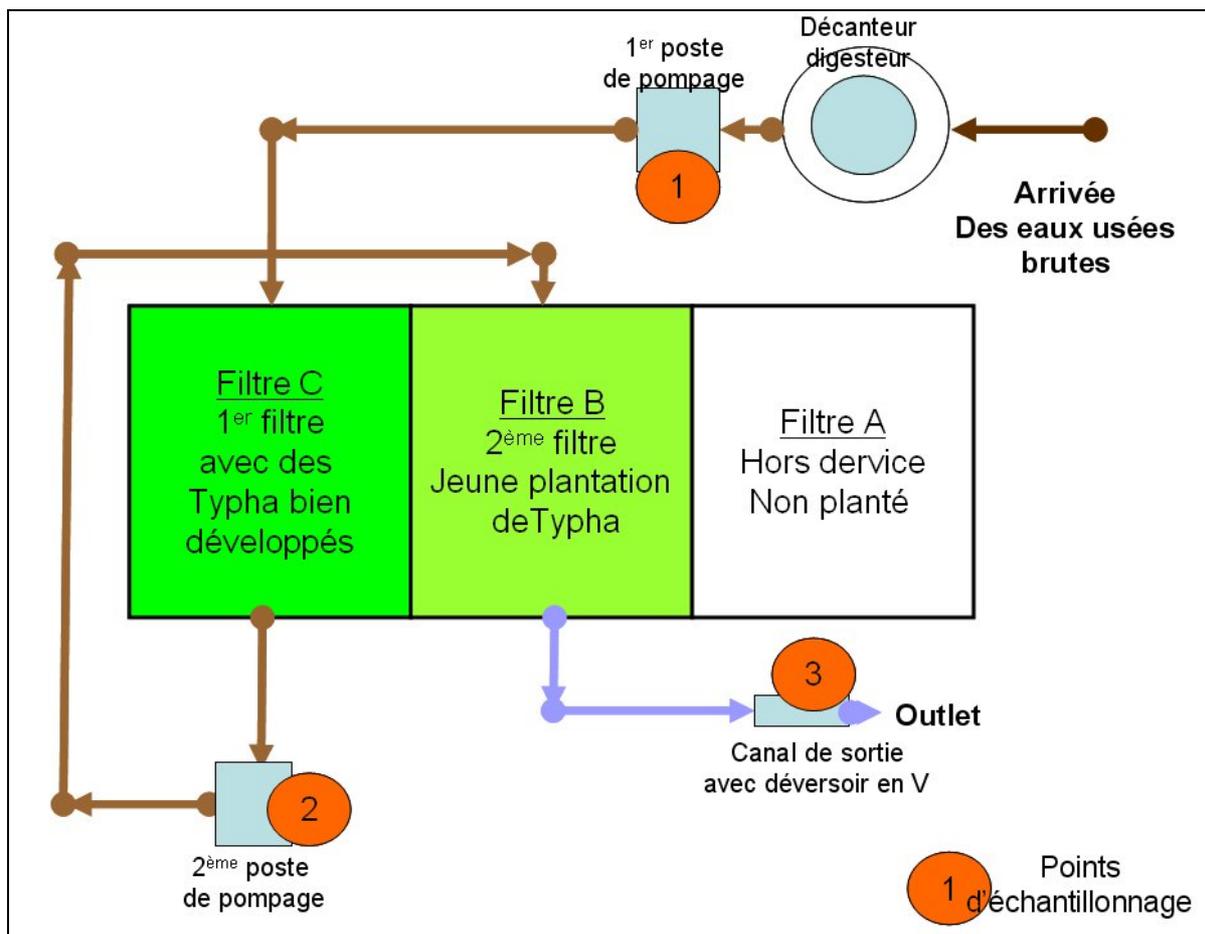


Figure 3 : Plan schématique de la station de Totorossa et des points d'échantillonnage

*Juin 2008**Mars 2009**Juin 2008*

Figure 4 : Photos de la station de Totorossa à diverses dates

### **Arguments retenus pour la conception de cette station**

Il est apparu intéressant de tester le fonctionnement de filtres à écoulement horizontal pour de petits lotissements implantés dans une zone relativement plane, car leur fonctionnement en saturation ne nécessite pas une forte dénivelée (environ un mètre entre l'arrivée des eaux usées et la sortie vers le milieu naturel). De plus, leur mise en œuvre est beaucoup plus simple que celle des filtres à écoulement vertical, car le matériau de remplissage relativement grossier peut avoir une granulométrie uniforme entre 10 et 20 mm, même s'il est préférable de mettre en place en entrée et sortie une sorte de gabion avec une granulométrie supérieure à 20 mm.

Ces matériaux grossiers, mêmes produits par concassage de roche mère, peuvent être facilement criblés à sec pour éliminer la quasi totalité des fines produites par la fabrication.

De plus, la gestion est très simple puisqu'il n'est pas nécessaire de pratiquer l'alternance de l'alimentation qui est indispensable pour des filtres à écoulement vertical ; les contraintes d'exploitation sont donc réduites.

### 3 DESCRIPTIF DU SUIVI

Un premier suivi partiel a été réalisé en 2006 permettant d'aboutir à des premiers résultats très encourageants. Il a par ailleurs permis de réaliser une publication lors du congrès IWA de Lisbonne. Suite à ces premières analyses, des modifications sur les filtres ont été réalisées afin d'optimiser leur utilisation et leur suivi qui s'est poursuivi en 2007 et courant 2008. Des modifications ont été décidées en 2008 pour aboutir à des résultats plus rigoureux sur du long terme avec l'objectif de parvenir à des conclusions sur le dimensionnement de la filière en 2010. Ce suivi est décrit ci-dessous.

#### 3.1.1 Descriptif du suivi de Totorossa

Les suivis se font sur une base de 24h (mesure des débits et prélèvements d'échantillons sur 24h).

Le fonctionnement de la station se fait par passage des effluents dans le filtre C (planté de Typhas) puis passage dans le filtre B (planté de Typhas également depuis début 2010) avant d'être infiltrés dans le sol.

##### MESURE DES DEBITS :

Poste de refoulement en entrée (après décanteur-digesteur) :

- enregistrement du temps de fonctionnement des pompes et du nombre de bâchées,
- relevé du débitmètre électromagnétique sur la conduite de refoulement
- relevé des consommations d'eau potable lors des bilans 24h

Poste Intermédiaire

- enregistrement du temps de fonctionnement des pompes

Canal de sortie

- mesure du débit en sortie par enregistrement du niveau d'eau à travers un seuil en V.

##### MESURE DE LA PLUVIOMETRIE :

- Mesure de la pluviométrie avec mise en place d'un pluviomètre (*cette mesure n'a été relevée que pour certain suivi*)

##### PRELEVEMENTS :

Les prélèvements se font :

- dans le poste de refoulement en entrée,
- dans le poste intermédiaire,
- dans le canal de sortie.

##### ANALYSES :

Les paramètres analysés sont les suivants :

DCO brute, DCO filtré, DBO5, MES, NT, NK, NH4-N, NO2-N, NO3-N, P.

En parallèle, des mesures ponctuelles du Red Ox, O2 dissous, pH, conductivité et T° in situ ainsi qu'un suivi des filtres ont également été réalisées.



Préleveur programmable



Seuil en V



Canal de sortie

Figure 5 : Photos du suivi à Totorossa

### 3.1.2 Descriptif du suivi de Hachenoua

Les suivis de font sur un bilan 24h (mesure des débits et prélèvements d'échantillons sur 24h).

#### MESURE DES DEBITS :

Poste de refoulement en entrée :

- enregistrement du temps de fonctionnement des pompes du poste de refoulement et du nombre de bâchées
- relevé du débitmètre électromagnétique sur la conduite de refoulement
- relevé des consommations d'eau potable lors des bilans 24h

Canal de sortie

- mesure du débit en sortie par enregistrement du niveau d'eau à travers un seuil en V

#### MESURE DE LA PLUVIOMETRIE :

- Mesure de la pluviométrie avec mise en place d'un pluviomètre (*cette mesure n'a pas été relevée lors de chaque suivi*)

#### PRELEVEMENTS :

Les prélèvements se font :

- en entrée, dans un récipient placé en dessous des conduites d'alimentation arrivant dans le poste
- dans le poste de refoulement (qui récupère les eaux entrantes et les eaux recirculées),
- dans le canal de sortie.

#### ANALYSES :

Les paramètres qui seront analysés sont les suivants :

DCO brute, DCO filtré, DBO5, MES, NT, NK, NH4-N, NO2-N, NO3-N, P.

En parallèle, des mesures en situ de Red Ox, pH, conductivité et T° ainsi qu'un suivi des filtres seront également réalisées.



*Préleveur programmable*



*Flacons du préleveur*



*Seuil en V*

Figure 6 : Photos du suivi à Hachenoua

## **4 SYNTHÈSE ET RESULTATS DU SUIVI EXPERIMENTAL (extrait de la publication au XII<sup>ème</sup> congrès IWA de Venise)**

### **4.1 STATION DE HACHENOUA**

#### **4.1.1 CONTEXTE ET OBJECTIFS**

Etant donné que les préoccupations d'ordre sanitaire dans le petit réseau hydrographique superficiel sont importantes à Mayotte (baignade plus ou moins contrôlée d'enfants, notamment), y limiter les rejets directs des stations d'épuration s'inscrit dans cette logique tant qu'il n'est pas envisageable d'en garantir l'innocuité vis à vis des germes pathogènes.

Sachant que pour cette station l'eau traitée doit être infiltrée dans le sol en aval (raisons sanitaires mais également de captage d'eau potable dans le cours d'eau situé en aval), il s'agit d'obtenir les concentrations en matière organique résiduelle les plus faibles afin qu'elles n'engendrent pas une croissance de biomasse hétérotrophe dans la porosité naturelle du sol des bassins d'infiltration qui pourrait, sur le long terme engendrer, un colmatage et une stagnation permanente d'eau pouvant servir de gîte larvaire pour les moustiques.

En plus des concentrations en MES, DBO et DCO, un bon critère de jugement pour apprécier les performances des filtres plantés à recirculation et ne de pas les surcharger est de suivre la nitrification qui est un processus très sensible aux conditions d'oxygénation dans le massif filtrant qui pourraient diminuer si la charge spécifique traitée (sous forme de DBO et DCO indicatrices de la fraction carbonée de la charge) devenait excessive. Corrélativement, une charge spécifique également trop élevée en MES peut aussi engendrer une croissance trop rapide de la couche de boue superficielle qui peut limiter les processus de réoxygénation depuis la surface des filtres. Néanmoins, des concentrations résiduelles en azote réduit sous forme dissoute (azote organique non particulaire – car de l'azote organique particulaire serait aussi capable de bloquer la porosité du sol - et sels ammoniacaux), de l'ordre d'une trentaine de mg/L, ne paraissent pas a priori préjudiciables car elles seront aisément oxydées dans le sol par les bactéries autotrophes présentes si, par ailleurs, la charge hydraulique appliquée permet un renouvellement de l'oxygène dans la porosité qui doit globalement demeurer insaturée. On voit donc qu'un suivi global des performances devrait aussi intégrer les conditions de fonctionnement des bassins d'infiltration en aval en lien avec les caractéristiques intrinsèques du sol (texture, perméabilité, ...).

#### 4.1.2 SYNTHÈSE DES RESULTATS DU SUIVI

Les concentrations relevées à l'entrée de la station de Hachenoua sont les suivantes :

	DCOb	DCOf	DBO5	MES	NK	N-NH4	PT
Moyenne (mg/L)	806,8	337,6	432,1	476,0	86,8	68,1	12,6
Ecart type (mg/L)	243,3	154,3	97,7	128,5	17,6	13,5	3,9
Coeff var	0,30	0,46	0,23	0,27	0,20	0,20	0,31
Nb valeurs	9	8	7	7	8	8	6

Tableau 1'

Tableau 1 : Qualité des eaux en sortie et rendement des deux ½ filtres de la station d'Hachenoua (échantillonnage 3)

Avec recirculation	DCOb	DCOf	DBO5	MES	NK	N-NH4	NGL	PT
Moyenne (mg/L)	69,0	50,5	21,6	26,3	4,0	2,0	37,4	5,3
Ecart type (mg/L)	33,7	18,6	9,5	21,9	0,9	0,5	14,8	1,2
Coefficient de variation	0,49	0,37	0,44	0,83	0,22	0,26	0,40	0,23
Nombre de valeurs	10	8	4	10	8	8	8	6
Rendements moyens (%)	90,4%	83,4%	94,5%	93,2%	93,9%	96,5%	54,5%	49,2%
Pour comparaison (une seule valeur) : Sans recirculation(mg/L)	43,0	29,0	26,0	14,0	1,6	1,5	37,4	5,0

A titre de comparaison, l'arrêté du 22 juin 2007 définissant les prescriptions applicables aux ouvrages d'assainissement précise les performances minimales des stations d'épuration devant traiter une charge brute de pollution organique inférieure ou égale à 120 kg/j de DBO5 résumé dans le tableau :

Arrêté du 22 juin 2007 pour les stations < 120 kg/j de DBO5		
Paramètres	Concentration à ne pas dépasser	Rendement minimum à atteindre
DCO	/	60 %
DBO	35 mg/l	60 %
MES	/	50 %
NGL et PT	/	Pas de rendements demandés

Les rendements minima à atteindre sont donc largement atteints.

Globalement, on peut constater une excellente qualité sur tous les paramètres indicatifs de la fraction carbonée de la matière organique (hors DBO<sub>5</sub> paramètre dont l'analyse ne paraît pas toujours très fiable) mais ce qui est encore plus appréciable est le constat d'un abattement de presque 94% sur l'azote Kjeldahl qui témoigne d'une excellente nitrification, même sans recirculation, ce qui prouve que les limites de fonctionnement sont encore loin d'être atteintes. L'abattement de près de 55% sur l'azote global trouve vraisemblablement son origine dans la dénitrification qui s'opère au contact des nitrates recirculés (en moyenne 30 mg de N/L) avec l'eau usée brute. Le constat d'une concentration similaire en NGL lors du bilan de juin 2010, sans recirculation, est en revanche difficilement explicable car même si les couches profondes du filtre sont moins oxygénées, la quantité de carbone résiduel nécessaire à la dénitrification doit également être très faible ? Le rendement de près de 50% sur le phosphore total est lui aussi relativement élevé pour une station en fonctionnement depuis plus de 4 ans dans laquelle la quantité de boue accumulée est encore très faible.

Pour respecter un niveau de traitement correspondant à celui fixé pour les stations traitant une charge organique supérieure à 120 kg de DBO5 (pour un rejet en eaux de surface, par exemple), à savoir 25 mg/L en DBO5, 125 mg/l en DCO et 35 mg/L en MES, la mise en place d'une petite fosse de décantation pour retenir les matières en suspension qui sortent de temps en temps des filtres (c'est sur ce paramètre que les performances sont les moins stables avec un coefficient de variation de 0,8), surtout sous forme de biomasse épuratoire, pourrait sécuriser la qualité du rejet. Dans le cas d'une disposition topographique comme à Hachenoua, on pourrait aisément vider gravitairement la matière décantée de cette fosse vers le poste de refoulement en tête des filtres, par une petite bonde de fond qu'on ouvrirait brièvement à intervalles réguliers (une fois/semaine lors de l'alternance). D'autres solutions envisageables en climat tempéré, telles que la mise en place de bandes enherbées, de petites zones humides ou encore de fossés végétalisés avant le rejet, sont sans doute mal adaptées au climat tropical à cause du risque qu'elles deviennent un habitat pour des moustiques.

### **Remarques concernant le fonctionnement**

*Consommation d'énergie.* L'enregistrement régulier des index du compteur électrique entre septembre 2008 et fin mai 2010, montre que la consommation moyenne journalière s'établit à 2,0 kWh, ce qui correspond à une consommation spécifique d'environ 0,35 kWh/par kg de DCO éliminée. S'il n'est pas permis d'escompter un meilleur rendement énergétique avec un accroissement des charges traitées (les volumes pompés et par conséquent l'énergie consommée demeureront strictement proportionnels), cette performance est au moins 3 fois meilleure que ce que l'on peut attendre d'une station d'épuration à boues activées.

*Absence de boues à gérer.* Sachant que ce poste est l'un des principaux qui affectent l'exploitation des stations, il est remarquable de constater la quasi absence de dépôts superficiels à la surface des filtres en fonctionnement. Certes, la sous-charge n'est pas sans incidence sur ce constat, mais l'expérience accumulée en métropole est telle que l'on peut sans risque valoriser cet aspect, d'autant plus que la minéralisation sous le climat mahorais est susceptible d'activer encore les cinétiques. De plus, quand on considère l'indigence des moyens pour gérer convenablement ce sous-produit et le peu de terres agricoles disponibles pour le valoriser, il s'agit d'un point crucial qui devrait inciter les autorités locales à implanter des filtres plantés là où les contraintes géographiques et sociologiques le permettent.

### **Enseignements déjà acquis au regard du fonctionnement de tels filtres à recirculation en métropole**

Des FPR à flux vertical sont déjà en service en métropole et leur suivi fait partie des priorités d'études du Cemagref et du groupe Epnac (<http://epnac.cemagref.fr/>). Une communication traitant spécifiquement ce sujet est d'ailleurs prévue dans le cadre de la 12<sup>ème</sup> conférence spécialisée de l'IWA à Venise en octobre prochain (Prost-Boucle *et al.*, 2010). Quelques paramètres de dimensionnement peuvent d'ores et déjà être tirés de cette étude dans le contexte métropolitain, sachant toutefois qu'ils doivent nécessairement prendre en compte les conditions hivernales et les limitations qu'elles imposent aux processus biologiques en général et à la nitrification en particulier. Un rendement des filtres supérieurs à 80% sur la matière organique et 50-60% de nitrification peuvent être obtenus dans les conditions suivantes :

- Une conception basée sur 3 filtres pour permettre un rythme d'alimentation-repos de 3,5 et 7 jours respectivement, mais sur une base de 1,5 m<sup>2</sup>/EH, soit 0,5 m<sup>2</sup>/filtre/EH,
- Une charge hydraulique maximale sur le filtre en service de 0,7 m/jour (limitante en hiver), pour un taux de recirculation de 100%,

- Une charge organique spécifique en entrée de filtre (y compris avec les charges apportées par la recirculation) pouvant atteindre jusqu'à 600 g de DCO, 250 g de MES et 45 g de NK/jour/m<sup>2</sup> de filtre alimenté.

### **Charges et conditions de fonctionnement intéressantes à tester à Hachenoua**

Au titre d'une relative similitude climatique, il n'est guère possible de tirer parti des conditions de fonctionnement estivales testées à Saint Thibaud de Couz en été étant donné que le taux de recirculation n'était que de 50% et la charge hydraulique légèrement plus faible que celle en place à Hachenoua (0,4 m contre 0,51 respectivement). A Saint Thibaud, les conditions de fonctionnement sont a priori plus favorables (3 filtres en parallèle qui limitent la période d'alimentation à 3,5 jours) mais avec une charge spécifique en entrée station de 220 g de DCO/m<sup>2</sup>/jour sur le filtre en service (la station ne reçoit que l'équivalent de 550 EH et la surface réelle de chaque filtre est de 300 m<sup>2</sup>), le rendement sur l'azote Kjeldahl n'est que de 68% (à partir des entrées brutes à la station) alors qu'il est de presque 94% à Hachenoua pour une charge spécifique d'environ 160 g de DCO/m<sup>2</sup>/jour. Etant donné le climat de Mayotte et en dépit de périodes de fonctionnement de 7 jours, il semble réaliste de tester une charge hydraulique de 0,8 m/jour. Et si nous tablons sur les rendements obtenus (en "local") à Saint Thibaud (respectivement 83, 90 et 59% en DCO, MES et NK), les charges reçues par les filtres d'Hachenoua pour un taux de recirculation de 100% devraient se situer aux environs de 350, 200 et 42 g/m<sup>2</sup>/jour de DCO, MES et NK ; soit des charges spécifiques voisines de celles traitées en phase 4 (estivale) à Saint Thibaud. La surface spécifique globale en terme de DCO serait alors d'environ 0,66 m<sup>2</sup>/EH mahorais (environ 12 kg de DCO/jour sur 81 m<sup>2</sup>, soit 150 g de DCO par m<sup>2</sup> sans compter la recirculation) alors que nous sommes actuellement proches de 1,2. Il faudrait alors pouvoir connecter environ 120 équivalent-habitants mahorais au réseau, sans augmenter les surfaces en fonctionnement.

Ces conditions de fonctionnement seront évidemment ajustées en fonction des résultats intermédiaires réellement trouvés et de l'expérience progressivement acquise en métropole.

## 4.2 STATION DE TOTOROSSA

Les concentrations relevées à l'entrée de la station de Totorossa (après Décanteur-Digesteur) sont les suivantes :

	DCOb	DCOf	DBO5	MES	NK	N-NH4	NGL	PT
Moyenne (mg/L)	359,1	210,7	161,6	145,8	91,2	78,0	91,5	13,1
Ecart type (mg/L)	94,8	90,1	23,1	136,4	11,7	8,8	11,9	2,3
Coeff var	0,26	0,43	0,14	0,94	0,13	0,11	0,13	0,18
Nb valeurs	9	7	5	7	7	7	7	5

Tableau 2'

Tableau 2 : *Qualité des eaux et rendements en sortie du filtre C à Totorossa (point d'échantillonnage 2)*

	DCO	DCOf	DBO5	MES	NTK	N-NH4	NGL	PT
Moyenne (mg/L)	76,3	56,0	23,0	15,0	53,5	49,4	54,2	10,4
ET (mg/L)	26,9	30,4		16,0	18,5	16,7	18,1	3,2
CV	0,35	0,54		1,07	0,34	0,34	0,33	0,30
Nb valeurs	8	4	1	6	6	6	6	3
Rendement/ entrée filtre C	79,9 %	73,4 %	85,8 %	89,7 %	41,3%	36,7 %	40,8 %	20,7 %

Tableau 3 : *Qualité des eaux et rendements en sortie du filtre B à Totorossa point d'échantillonnage 3)*

	DCO	DCOf	DBO5	MES	NTK	N-NH4	NGL	PT
Moyenne (mg/L)	47,0	39,6	15,7	6,6	26,5	23,9	28,8	6,1
ET (mg/L)	20,6	19,6	8,3	2,6	7,6	7,4	7,2	2,7
CV	0,44	0,50	0,53	0,39	0,29	0,31	0,25	0,45
Nb valeurs	10	6	5	8	6	6	6	4
Rendement/ entrée filtre B	41,7%	29,4%	31,9%	55,8%	50,6%	51,7%	46,9%	41,4%
Rendement/ entrée filtre C	88,3%	81,2%	90,3%	95,5%	71,0%	69,4%	68,6%	53,5%

L'absence d'analyses sur les abattements de germes fait perdre à ces filtres le principal avantage que leur procure normalement le long temps de séjour induit par la saturation complète de la porosité et qui les différencie des filtres à écoulement vertical.

La dénitrification dans le milieu saturé permet à ce filtre un meilleur abattement de l'azote global que celui observé sur le filtre à écoulement vertical à Hachenoua, toutefois au prix d'une concentration résiduelle supérieure en azote réduit et d'une emprise au sol nettement plus élevée. Néanmoins, cette relative bonne performance (par rapport à ce qui est classiquement observée pour une filière Décanteur-digesteur plus FPRH avec une charge équivalent) est peut-être liée à l'apport de l'oxygène des sulfates présents en entrée des filtres

Au titre de l'amélioration sensible de la situation locale apportée par la construction des filtres plantés à Totorossa, (notamment pour le voisinage) on notera que la qualité finale de l'eau permet sa bonne dispersion dans la parcelle d'épandage souterrain étant donné qu'on n'observe

plus le colmatage ni la stagnation d'eau que l'on voyait précédemment en sortie de l'ancienne station à boues activées.

### Mesures à prendre pour augmenter la charge

Un projet de création de 10 logements supplémentaires est en cours d'instruction, au total ce seront donc 35 logements qui seront raccordés à la station de Totorossa, soit environ 105 habitants sur la base de 3 habitants par logement.

Quand une charge de 100 EH sera atteinte, il faudra sûrement mettre en service les filtres C et B en fonctionnement continu et en alimentation parallèle pour ne pas dépasser une charge spécifique de l'ordre de 17 g de DCO/m<sup>2</sup>/ jour, puis faire fonctionner le filtre A en traitement complémentaire.

A terme, les trois filtres devront pouvoir traiter la charge générée par 150 EH mahorais (alors qu'initialement, ils étaient conçus pour pouvoir traiter 150 EH « officiels »).

## 4.3 SYNTHÈSES DU FONCTIONNEMENT DES DEUX STATIONS

Le Tableau 4, ci-dessous résume le nombre d'abonnés, le nombre estimé d'habitants correspondant, leur consommation d'eau, les rejets d'eau usées que nous avons retenus à partir des résultats des mesures (à savoir 80 % de la consommation d'eau potable) ainsi que les charges traitées qui en résultent, pour les différents paramètres.

Tableau 4 : Charges traitées sur les deux stations

	Hachenoua	Toto Rossa	Toto Rossa	EH officiel	EH mahorais
	Effluent brut	Effluent primaire (sortie décanteur-digesteur)	Rendement supposé décanteur-digesteur	(base officiel France)	(base SIEAM)
Nombre d'abonnées	26	25			
Habitants/abonné (est.)	4	3			
Nombre d'habitants	104	75			
Conso eau potable	10,6 m3/j	7,3 m3/j			
Conso eau potable/habitant/jour	102,2 L	97,2 L		150,0 L	100,0 L
Rejet eaux usées	8,6 m3/j	5,8 m3/j			
<b>Rejet eaux usées/habitant /jour</b>	<b>82,8 L</b>	<b>77,7 L</b>		<b>150,0 L</b>	<b>100,0 L</b>
Charge DCO	6,57 kg/j	2,23 kg/j		55,2% à Hachenoï	82,8% à Hachenoï
<b>Charge DCO/habitant/jour</b>	<b>63 g</b>	<b>30 g</b>	52,9%	<b>120 g</b>	<b>100 g</b>
Charge DBO5	3,72 kg/j	0,94 kg/j		52,6% à Hachenoï	63,2% à Hachenoï
<b>Charge DBO 5/habitant/jour</b>	<b>36 g</b>	<b>13 g</b>	64,9%	<b>60 g</b>	<b>45 g</b>
Charge MES	4,10 kg/j	0,85 kg/j		59,6% à Hachenoï	79,5% à Hachenoï
<b>Charge MES /habitant/jour</b>	<b>39 g</b>	<b>11 g</b>	71,2%	<b>90 g</b>	<b>60 g</b>
Charge NK	0,75 kg/j	0,53 kg/j		43,8% à Hachenoï	65,7% à Hachenoï
<b>Charge NK/habitant/jour</b>	<b>7,2 g</b>	<b>7,1 g</b>	1,4%	<b>14 g</b>	<b>10 g</b>
Charge PT	0,11 kg/j	0,08 kg/j		51,3% à Hachenoï	71,9% à Hachenoï
<b>Charge PT/habitant/jour</b>	<b>1,04 g</b>	<b>1,02 g</b>	2,2%	<b>2,2 g</b>	<b>1 g</b>
				47,4% à Hachenoï	104,2% à Hachenoï

On observe les faits suivants :

- La consommation d'eau potable sur les deux sites est de l'ordre de 100 L/habitant/jour, comme observée ailleurs à Mayotte. Contrairement à ce qui a été supposé à la conception des stations, le fait que les lotissements soient essentiellement occupés par des métropolitains ne semble pas résulter dans une consommation d'eau plus élevée.
- Contrairement à ce qui a été observé ailleurs, le débit journalier rejeté que nous avons mesuré sur les deux stations (avec toutefois quelques incertitudes à cause de la variabilité des résultats) est inférieur (de 20 %) à la consommation d'eau potable, ce qui, d'une part, est dû à l'absence stricte d'eau claire parasites et, d'autre part, probablement à l'utilisation d'une partie des eaux pour l'arrosage du jardin.

- Les débits et charges rejetés, selon nos calculs, par habitant à Hachenoua sont très inférieurs sur tous les paramètres aux charges correspondant à un « équivalent-habitant » (EH) et même par rapport aux ratios utilisés à Mayotte par le SIEAM pour le dimensionnement des stations, le « EH mahorais » (à l'exception du PT pour ce dernier) : selon les paramètres, un habitant à Hachenoua ne rejette qu'entre 44 (NK) et 60 % (MES) d'un « EH officiel » et entre 63 % (DBO) et 83 % (DCO) d'un « EH mahorais »
- A Totorossa, le débit rejeté par habitant est du même ordre de grandeur qu'à Hachenoua. (pour mémoire, nous ne disposons pas de prélèvements et analyses d'eau en entrée du décanteur-digesteur à Totorossa). En supposant que les charges rejetées par habitant le soient également, le rendement du décanteur-digesteur en tête serait d'environ 53 % pour la DCO, 65 % pour la DBO<sub>5</sub> et 71 % pour les MES. Cette hypothèse est corroborée par le fait que la charge en NK et PT par habitant mesuré en sortie du décanteur-digesteur est du même ordre que celle mesurée pour les eaux usées à Hachenoua : il est en effet connu que l'azote et le phosphore sont peu retenus dans des ouvrages de décantation et restitués dans la phase liquide lors de la minéralisation des boues dans le digesteur.

Le

Tableau 5, ci-dessous, récapitule les charges traitées sur les deux stations et les met en relation avec les surfaces des filtres en service sur les deux stations, pour tous les paramètres usuels. Les charges hydrauliques et organiques (DCO, estimée en ce qui concerne Totorossa) reçues par m<sup>2</sup> sont par ailleurs reconverties en m<sup>2</sup> par EH (« officiel » et « mahorais »). Finalement, en mettant en relation la charge surfacique avec les rendements pour tous les paramètres usuels, l'abattement de la pollution par m<sup>2</sup> mis en oeuvre est calculé pour la station de Hachenoua, ainsi que pour chacun des deux filtres en série de Totorossa, et pour l'ensemble de la surface de deux filtres à Totorossa.

Ils montrent que :

- le m<sup>2</sup> de la station de Hachenoua abat 6 à 10 fois plus de pollution par m<sup>2</sup> que le premier filtre de la station de Totorossa, et cela pour tous les paramètres à l'exception du NGL (mais même sur ce dernier paramètre, il reste trois fois plus efficace) ;
- l'efficacité du second filtre à Totorossa devient marginale en ce qui concerne la pollution organique (environ 10 % de la charge abattue par m<sup>2</sup> sur le premier filtre) mais il continue d'abattre assez efficacement les nutriments (pour PT, la charge retenue par m<sup>2</sup> augmenterait même, mais le nombre très restreint de valeurs rend une telle interprétation hasardeuse).

En terme de surface utile par EH mahorais, les surfaces actuellement en service sont de :

- 0,9 m<sup>2</sup> / 1,2 m<sup>2</sup> par EHm (100L/100 g DCO) à Hachenoua
- 2,6 m<sup>2</sup> / 3,4 m<sup>2</sup> par EHm (100L/100 g DCO) à Totorossa, pour le premier filtre seulement
- 5,1 m<sup>2</sup> / 6,7 m<sup>2</sup> par EHm (100L/100 g DCO) à Totorossa, pour l'ensemble de deux filtres en série

Tableau 5 : Charges surfaciques traitées sur les deux stations

	Hachenoua	Toto Rossa filtre C	Toto Rossa filtre B	Toto Rossa filtres C&B
	Effluent brut	Effluent primaire (sortie décanteur-digesteur)	Effluent secondaire (sortie filtre C)	Effluent primaire (sortie décanteur-digesteur)
<b>Nombre d'habitants</b>	104	75	75	75
Rejet eaux usées	8,6 m3/j	5,8 m3/j	5,8 m3/j	5,8 m3/j
Surface	81,0 m <sup>2</sup>	150,0 m <sup>2</sup>	150,0 m <sup>2</sup>	300,0 m <sup>2</sup>
<b>m<sup>2</sup>/habitant raccordé</b>	<b>0,8 m<sup>2</sup></b>	<b>2,0 m<sup>2</sup></b>	<b>2,0 m<sup>2</sup></b>	<b>4,0 m<sup>2</sup></b>
Charge hydraulique mm/j *	106	39	39	19
<b>m<sup>2</sup>/EH (150 L/EH)</b>	<b>1,4 m<sup>2</sup></b>	<b>3,9 m<sup>2</sup></b>	<b>3,9 m<sup>2</sup></b>	<b>7,7 m<sup>2</sup></b>
<b>m<sup>2</sup>/EH mahorais (100 L/EH)</b>	<b>0,9 m<sup>2</sup></b>	<b>2,6 m<sup>2</sup></b>	<b>2,6 m<sup>2</sup></b>	<b>5,1 m<sup>2</sup></b>
Charge hydraulique mm/j sur le filtre en fonct, avec recirculation	501	-	-	-
Charge DCO**	6,57 kg/j	2,23 kg/j	0,45	2,23 kg/j
Charge DCO/m <sup>2</sup> /jour *	81 g	14,9 g	3,0 g	7,4 g
<b>m<sup>2</sup>/EH (60 g DCO/EH)***</b>	<b>1,5 m<sup>2</sup></b>	<b>4,0 m<sup>2</sup></b>	-	<b>8,1 m<sup>2</sup></b>
<b>m<sup>2</sup>/EH mahorais (100 g DCO/EH)***</b>	<b>1,2 m<sup>2</sup></b>	<b>3,4 m<sup>2</sup></b>	-	<b>6,7 m<sup>2</sup></b>
<b>Rendement DCO</b>	<b>90,4%</b>	<b>79,9%</b>	<b>41,7%</b>	<b>88,3%</b>
<b>g DCO éliminé par m<sup>2</sup> et jour</b>	<b>73 g</b>	<b>11,9 g</b>	<b>1,2 g</b>	<b>6,6 g</b>
Charge DBO5	3,72 kg/j	0,94 kg/j	0,13 kg/j	0,94 kg/j
Charge DBO 5/m <sup>2</sup> /jour	46 g	6,3 g	0,9 g	3,1 g
<b>Rendement DBO5</b>	<b>94,5%</b>	<b>85,8%</b>	<b>31,9%</b>	<b>90,3%</b>
<b>g DBO5 éliminé par m<sup>2</sup> et jour</b>	<b>43 g</b>	<b>5,4 g</b>	<b>0,3 g</b>	<b>2,8 g</b>
Charge MES**	4,10 kg/j	0,85 kg/j	0,09 kg/j	0,85 kg/j
Charge MES /m <sup>2</sup> /jour	51 g	5,7 g	0,6 g	2,8 g
<b>Rendement MES</b>	<b>93,2%</b>	<b>89,7%</b>	<b>55,8%</b>	<b>95,5%</b>
<b>g MES éliminé par m<sup>2</sup> et jour</b>	<b>47 g</b>	<b>5,1 g</b>	<b>0,3 g</b>	<b>2,7 g</b>
Charge NK	0,75 kg/j	0,53 kg/j	0,31 kg/j	0,53 kg/j
Charge NK/m <sup>2</sup> /jour	9 g	3,5 g	2,1 g	1,8 g
<b>Rendement NK</b>	<b>93,9%</b>	<b>41,3%</b>	<b>50,6%</b>	<b>71,0%</b>
<b>g NK éliminé par m<sup>2</sup> et jour</b>	<b>9 g</b>	<b>1,5 g</b>	<b>1,1 g</b>	<b>1,3 g</b>
Charge NGL	0,75 kg/j	0,53 kg/j	0,32 kg/j	0,53 kg/j
Charge NGL/habitant/jour	9 g	3,6 g	2,1 g	1,8 g
<b>Rendement NGL</b>	<b>54,5%</b>	<b>40,8%</b>	<b>46,9%</b>	<b>68,6%</b>
<b>g NGL éliminé par m<sup>2</sup> et jour</b>	<b>5 g</b>	<b>1,5 g</b>	<b>1,0 g</b>	<b>1,2 g</b>
Charge PT	0,11 kg/j	0,08 kg/j	0,06 kg/j	0,08 kg/j
Charge PT/habitant/jour	1,3 g	0,5 g	0,4 g	0,3 g
<b>Rendement PT</b>	<b>49,2%</b>	<b>20,7%</b>	<b>41,4%</b>	<b>53,5%</b>
<b>g PT éliminé par m<sup>2</sup> et jour</b>	<b>1 g</b>	<b>0,1 g</b>	<b>0,2 g</b>	<b>0,1 g</b>

\* par rapport à la totalité de la surface en service pour Hachenoua et sans tenir compte de la recirculation

\*\* sans les analyses en entrée et intermédiaire du 9 juin 2009 pour Tota Rossa

\*\*\* en supposant un abattement de 50 % sur le décanteur-digesteur en tête pour Toto Rossa

On retiendra donc un dimensionnement de 3 m<sup>2</sup> par EH mahorais pour un filtre planté de roseaux à écoulement horizontal de type « Totorossa » et de 1 m<sup>2</sup> par EH mahorais pour un filtre planté roseaux à écoulement vertical de type « Hachenoua ».

## 5 MOYENS MIS EN ŒUVRE

### 5.1.1 Moyens humains du SIEAM

Tableau 6 : Moyens humains mis en œuvre par le SIEAM

Stations	Nature travaux	Nombre (hommes/mois)	Temps (jours)	Total (hommes.jours/mois)
Totorossa	Bilan 24h sur site	2	2	4
	Analyses laboratoire	1	½	½
	Coordination	2	¼	½
	TOTAL / bilan			5
Hachenoua	Bilan 24h sur site	2	2	4
	Analyses laboratoire	1	½	½
	Coordination	2	¼	½
	TOTAL / bilan			5
<b>TOTAL</b>	<b>Hachenoua + Totorossa</b>			<b>10</b>

Tous les mois (hormis les mois de juillet, août et décembre), un bilan 24h est réalisé sur chaque station, donc 2 bilans par mois pendant 9 mois. Soit au total 90 hommes.jours / an. Si l'on considère une moyenne de 100 €/homme.jour pour le SIEAM, le montant s'élève à 9 000 € an en frais de fonctionnement pour le SIEAM.

### 5.1.2 Moyens logistiques du SIEAM

Tableau 7 : Moyens logistiques mis en œuvre par le SIEAM

Stations	Nature des travaux	Matériel
Totorossa + Hachenoua	Bilan 24h sur site	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 3 préleveurs programmables réfrigérés</li> <li>- 2 débitmètres électromagnétiques (en permanence / site)</li> <li>- 2 pluviomètres (en permanence) → <i>non installés à ce jour</i></li> <li>- 3 enregistreurs loggers + pinces ampérométriques</li> <li>- 1 sonde de pression pour mesure niveau dans canal de sortie</li> <li>- 1 ordinateur portable</li> <li>- 1 véhicule pour les déplacements</li> </ul>
	Analyses Laboratoire	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Réactifs pour analyses</li> <li>- Matériel de laboratoire utilisé de manière générale sur le suivi des stations d'épuration (Baobab)</li> </ul>

Le matériel de suivi pour les bilans 24h a fait l'objet d'une importante commande pour l'acquisition de toute la logistique nécessaire (facture Hydreka d'un montant de 37 773,20 €) mais sera utile pour le présent suivi expérimental mais également pour le suivi de toutes les autres stations de traitement (mini-Step, lagunages, Baobab...).

Les analyses en laboratoire nécessitent l'utilisation de matériel spécifique et des réactifs, utilisés pour l'ensemble des stations du SIEAM. On peut estimer qu'une analyse coûte environ 300,00 € Le montant s'élève donc pour les analyses laboratoire du suivi expérimental à environ 5 400,00 €/ an en frais de fonctionnement pour le SIEAM.

### 5.1.3 Partenaires techniques

Le suivi a fait l'objet d'un recadrage avec les experts du Cemagref et de la SINT pour la période 2008-2010 :

- Cemagref : réalisation des analyses azote au Cemagref permettant une comparaison des analyses et méthodes entre le laboratoire du SIEAM et le laboratoire du Cemagref et d'apporter un avis d'expert au SIEAM.
- SINT : encadrement du suivi avec la réalisation de fiches de suivi pour chaque station et examens des résultats. Un entretien téléphonique hebdomadaire a été mis en place avec le SIEAM.

Des missions terrain sur Mayotte du Cemagref et de la SINT ont également été inscrites au programme de ces suivis.

## 5.2 PRINCIPALES DIFFICULTES RENCONTREES ET ACTIONS

### 5.2.1 Rétrocession des ouvrages et foncier

#### Problématique :

Les ouvrages d'assainissement des stations de Totorossa et de Hachenoua appartiennent à la SIM et ne sont toujours pas rétrocédés au SIEAM. Le foncier de la station appartient également à la SIM.

N.B : le SIEAM en tant qu'exploitant en assainissement des lotissements de Hachenoua et Totorossa facture la part assainissement aux abonnés même si les ouvrages ne sont toujours pas rétrocédés à ce jour.

#### Actions correctives :

- le SIEAM a demandé lors d'une réunion du 20 mai 2009 que la SIM rétrocède les réseaux et les stations d'épuration au SIEAM. Un courrier type a été transmis à la SIM pour qu'il fasse la demande.
- Le SIEAM doit se rapprocher de la SIM pour fixer les conditions de transfert du foncier des stations.

### 5.2.2 Exploitation / dysfonctionnement

#### Problématique :

Des dysfonctionnements sont régulièrement constatés sur les stations de Totorossa et Hachenoua. Ces dysfonctionnements pouvant engendrer des nuisances pour les riverains proviennent soit de pannes électriques, soit de vandalisme. Ces dysfonctionnements ont pour conséquences des difficultés à réaliser les suivis.

#### Actions correctives :

Afin de minimiser au maximum les dysfonctionnements, des fiches de suivis ont été établies afin d'informer le service exploitation des soucis rencontrés lors des bilans 24h sur site. Des passages plus réguliers, notamment les jours précédents les bilans sont également réalisés pour disposer d'une station en fonctionnement lors des bilans 24h. Enfin certains travaux sont

envisagés pour améliorer le fonctionnement de ces stations (reprise de la chambre de vannes sur la station de Hachenoua, reprise du poste de relèvement intermédiaire et des automatismes sur la station de Totorossa).

### **5.2.3 Prolifération des moustiques sur la station de Totorossa**

#### Problématique :

La DASS a informé le SIEAM que la station de Totorossa présentait des nuisances dues aux moustiques. En effet, les locataires du lotissement se plaignent d'une prolifération importante des moustiques.

#### Actions correctives :

Des travaux destinés à éviter la prolifération des moustiques ont été réalisés par le SIEAM. Ces travaux ont consisté à supprimer tous points d'eau susceptible d'être un gîte larvaire. Ils consistent en :

- mise en œuvre de matériaux fins (4/6 mm) à la surface du filtre pour que les moustiques ne puissent pas accéder à la zone en eau située à environ 20 cm sous la surface des filtres,
- Destruction des plantes de type Dieffenbachia présentant des risques de gîtes larvaires.

### **5.2.4 Analyse des composants azotés au laboratoire du SIEAM**

#### Problématique :

Mayotte ne disposant pas de laboratoire agréé et le SIEAM n'utilisant pas de méthodes normalisées pour toutes ces analyses, certaines incohérences ont été constatées sur les analyses des composés azotés.

#### Actions correctives :

Afin de disposer d'analyses sur les composants azotés et de mesures comparatives par rapport au laboratoire Baobab du SIEAM, des échantillons pour analyses sont envoyés au laboratoire du Cemagref (partenaire du suivi). Ce comparatif permettra de déceler d'éventuelles améliorations / corrections à apporter pour disposer d'analyses fiables. Une formation du personnel du laboratoire du SIEAM au Cemagref est également nécessaire pour une analyse critiques des résultats et une approche des méthodes normalisées.

## 6 PRESCRIPTIONS CONSTRUCTIVES des filtres plantés à Mayotte

### ***Protection contre les moustiques :***

Les stations (filtres plantés vertical, horizontal mais également toutes les stations) doivent minimiser au maximum les risques de gîtes larvaires induisant la prolifération des moustiques. A cet effet il est nécessaire de prévoir les prescriptions suivantes :

- mise en œuvre de matériaux fins à la surface des filtres horizontaux pour empêcher les moustiques d'atteindre les zones en eau,
- mise en œuvre de grillage anti-moustique sur tous les ouvrages présentant une stagnation d'eau et non fermés hermétiquement (ouvrages ou regards de visite, fosses de relevage mais également sur les chapeaux d'aération des drains d'infiltration).

### ***Matériaux :***

L'acier même traité ou galvanisé est à proscrire car il ne tient pas avec le temps (y compris des pièces de raccords). En effet, l'agressivité des eaux usées mais surtout le milieu salin dû au contexte insulaire de Mayotte nécessite l'emploi de matériaux très résistants aux agressions. Utiliser de l'inox 316 L ou du PVC.

### ***Comptage en sortie :***

L'ouvrage de comptage en sortie doit être adapté au débit. En effet en cas de faible débit (à priori inférieur à 200 habitants), un comptage de type auget basculant sera préférable à un seuil en V ou à un canal Venturi.

### ***Plantes :***

Les plantes préconisées sont les suivantes :

- filtres plantés vertical : *Thysanolaena*
- filtres plantés horizontal : *Typha* (ou à nouveau *Thysanolaena* suivant le retour d'expérience que l'on pourra avoir sur la station de Barakani)

### ***Dimensionnements :***

A ce stade d'avancement des suivis des filtres plantés, les dimensionnements suivants sont recommandés :

- station à écoulement vertical de type Hachenoua : **1 m<sup>2</sup> / EH mahorais**
- station à écoulement horizontal de type Totorossa : **3m<sup>2</sup> / EH mahorais**

## **7 PRESCRIPTIONS D'EXPLOITATION des filtres plantés à Mayotte (extrait de la publication au XII<sup>ème</sup> congrès IWA de Venise)**

### **7.1 STATION DE HACHENOUA**

#### **Consignes d'exploitation**

Elles sont globalement résumées dans les quelques lignes qui suivent.

*Nettoyage hebdomadaire du panier dégrilleur à l'arrivée dans le poste de relèvement.*

Les déchets qui s'accumulent à ce niveau doivent être régulièrement extraits et envoyés avec les déchets solides du quartier (ordures ménagères) afin de ne pas risquer de bouchages intempestifs, notamment aux niveaux des coudes et vannes des canalisations alimentant les filtres. Il faut également nettoyer régulièrement les poires à niveau dans le poste de refoulement.

*Entretien des pompes.*

Vérifier que leur fonctionnement est fiable et procéder au remplacement préventif dès lors que le suivi des index de temps de fonctionnement s'approche de la durée de vie garantie par le constructeur.

*Alternance hebdomadaire des filtres et des bassins d'infiltration.*

Il s'agit d'une opération très simple et de courte durée mais absolument indispensable au bon fonctionnement de la station et à la garantie de ses performances épuratoires.

NB. Avec deux pompes et deux filtres en parallèle, cette alternance pourrait facilement être automatisée pour de futures stations de ce type, en reliant chacune des deux pompes à chacun des deux filtres et en programmant une alternance hebdomadaire des pompes. De même, chacun des bassins d'infiltration en aval des filtres pourrait être lié à chacun des deux filtres.

*Entretien des filtres et ouvrages connexes.*

En l'absence d'une couverture végétale souhaitée (*Thysanolaena maxima*) qu'il conviendrait de replanter avec une densité suffisante, d'autres plantes ont naturellement tendance à occuper cette surface vierge. Leur présence n'est pas indésirable tant qu'elles n'entravent pas le développement de l'espèce que l'on souhaite développer. Ces plantes colonisatrices peuvent aussi avoir un effet bénéfique sur la minéralisation des boues ; il s'agit donc essentiellement de contrôler leur développement.

Des cheminées d'aération du massif filtrant reliées au réseau de drainage ont été accidentellement cassées lors des débroussaillages, il faut absolument les réparer sans tarder afin d'éviter tout court-circuit par des eaux usées brutes et l'intrusion d'animaux ou débris végétaux qui pourraient boucher les canalisations, voire les drains ultérieurement.

*Le regard de recirculation et l'ouvrage de sortie sont également à nettoyer chaque semaine.*

Il faut aussi s'assurer que la lame déversante qui partage le flux entre la recirculation et l'évacuation vers les bassins d'infiltration n'est pas encombrée de débris végétaux qui viendraient déséquilibrer les réglages mis en place par le responsable scientifique du SIEAM.

*Fauchage des abords et entretien/surveillance des bassins d'infiltration.*

Le fauchage et l'enlèvement des parties coupées doivent être régulièrement réalisés à une fréquence adaptée. Il faut vérifier que l'infiltration dans les bassins est toujours performante car cela est incontestablement un signe de bon fonctionnement des filtres en amont. Toute stagnation intempestive à ce niveau doit être signalée pour contrôler consécutivement les filtres et, si le fonctionnement de ces derniers est irréprochable, il faut envisager des mesures correctives (en réduisant les flux d'eau pluviales qui peuvent entrer en compétition avec le rejet de la station, voire en augmentant les surfaces au regard d'une étude de sol).

Au moins une fois par mois, un « constat » visuel doit être effectué pour voir que les portails et clôtures sont en bon état et qu'il n'y a pas « d'intrusion » type personnes, animaux...

### **Durée « théorique » du temps d'exploitation**

Etant donné qu'il n'est pas aisé de quantifier individuellement le temps passé à chacune de ses tâches, le chiffrage approximatif suivant a été réalisé :

Alternance des filtres/vérification des pompes et entretien courant : 1h par semaine

Fauchage/nettoyage des abords et bassins d'infiltration : 1 journée par mois en moyenne

*L'ensemble équivaut donc approximativement à 1,5 homme.jour/mois*

## **7.2 STATION DE TOTOROSSA**

### **Remarques concernant le fonctionnement**

La présence du décanteur-digester en tête de station, indispensable au fonctionnement d'un filtre à écoulement horizontal, qui est le siège de processus anaérobies qui participent à la stabilisation partielle des boues, émet normalement des odeurs qui gênent parfois les riverains immédiats – ce qui peut nécessiter l'installation d'un filtre (par exemple une cartouche de filtre à charbon actif sur une conduite d'évacuation des gaz) – ce qui n'est pas été fait à Totorossa. De plus, ces boues doivent être régulièrement extraites du digesteur pour que leur accumulation ne vienne pas réduire le volume utile du décanteur primaire, sous peine de dysfonctionnement inéluctable en aval. Ces boues doivent rejoindre une filière de traitement de type matières de vidange de fosses toutes eaux qui n'existe actuellement sous une forme techniquement satisfaisante qu'à la station du Baobab de Mamoudzou.

### **Consignes d'exploitation**

Si l'on fait abstraction de la gestion des boues, l'avantage principal de cette filière est qu'elle ne génère aucune contrainte d'exploitation régulière étant donné que le fauchage de la partie aérienne des végétaux n'est même pas nécessaire en raison du fait que les débris végétaux ne sont jamais en contact avec l'eau. Le seul risque est qu'en saison pluvieuse, on n'assiste toutefois à une lixiviation des éléments plus ou moins minéralisés des résidus en cours de décomposition sous l'action des bactéries et/ou champignons.

De ce fait, il est vraisemblablement préférable d'extraire tout ce qui peut l'être plus ou moins facilement avant la saison des pluies. Outre, cet entretien épisodique des filtres, il faut naturellement s'occuper des abords pour éviter toute prolifération intempestive.

Une alternance hebdomadaire des filtres comme à Hachenoua n'est pas nécessaire.

Par contre, le SIEAM préconise tout de même une visite hebdomadaire afin d'assurer la maintenance des postes de refoulement et de nettoyer les ouvrages connexes (regards de sortie)

S'ajoutera également, comme à Hachenoua, la surveillance et la maintenance électromécanique des pompes.

Lors que la topographie est favorable – une différence de hauteur d'un mètre environ est requise entre le point d'arrivée du réseau dans le décanteur digesteur en entrée et le point de rejet en sortie – cette filière peut aussi fonctionner sans pompes et sans électricité.

### **Durée « théorique » du temps d'exploitation**

Globalement, hors vidange des boues, on peut considérer que le total des charges d'exploitation requiert *1 homme.jour/mois*.

## 8 POINT FINANCIER

Tableau 8 : Récapitulatif des éléments financiers mis en œuvre au cours de cette convention

Subventions		Nature travaux	Entreprises	Engagements
BOP 181	40 000,00 € + 50 000,00 €	Assistance technique (convention)	SINT	23 550,00 €
		Assistance technique (convention)	Cemagref	14 750,00 €
		Travaux sur stations (débitmètres)	MAMI	14 819,00 €
		Analyse granulométrique	DE	194,37 €
		Achats de matériels de suivi	HYDREKA	37 773,20 €
		Travaux Hachenoua (seuil V)	SOGEA	2 430,00 €
<b>TOTAL</b>	<b>90 000,00 €</b>			<b>93 516,57 €</b>

On remarque un déficit de 3 516,57 € entre les engagements et les subventions allouées. Ce déficit sera pris en charge par les fonds propres du SIEAM.

## 9 CONCLUSION (*conclusion de l'extrait de la publication au XII<sup>ème</sup> congrès IWA de Venise*)

En dépit de la sous-charge chronique qui ne permet pas d'entrevoir les limites de dimensionnement, le fonctionnement de la station d'**Hachenoua** est remarquable car la nitrification est excellente et il peut être envisagé d'augmenter nettement la charge avec les surfaces en jeu actuellement dès lors que le potentiel de traitement imputable à la recirculation aura permis d'établir des bases de dimensionnement réalistes en climat tropical (voir plus haut). La mise en place d'un petit dispositif de décantation en aval des filtres verticaux permettra de sécuriser le rejet, surtout en ce qui concerne les MES.

S'il y a tout lieu de penser que l'abattement des germes pathogènes dans ces filtres verticaux est insignifiant, le fait que le rejet vers le sol soit privilégié permet d'éliminer les risques sanitaires sous réserve d'une étude hydrogéologique étayée et de l'absence de stagnation prolongée d'eau en surface pour éviter des problèmes de prolifération de moustiques. La confection de deux bassins d'infiltration en parallèle, avec une alternance hebdomadaire du bassin en service, comme à Hachenoua, est fortement recommandée, car cela permet de pérenniser l'infiltration et d'éviter la stagnation prolongée des eaux en surface. Les travaux actuellement en cours en métropole sur les zones de dissipation végétalisées [ZDV] devraient rapidement permettre de définir les conditions nécessaires à la pérennisation de l'infiltration dès lors que le rejet des effluents épurés dans le lagon n'est pas géographiquement envisageable du fait de l'éloignement du littoral.

**En outre, ce type de filtre à écoulement vertical, alimenté en eaux usées brutes, présente l'énorme avantage de réduire considérablement les volumes de boues.** Leur fréquence d'extraction peut donc vraisemblablement être de l'ordre d'une dizaine d'années, même si l'intensité de la minéralisation en contexte tropical devra bien sûr être vérifiée à une charge proche du nominal. Ces boues sont de surcroît inodores et à la différence de celles extraites d'ouvrages anaérobies, leur manipulation n'occasionne pas de gêne passagère. Leur structure les fait ressembler à un compost qui, sous réserve qu'elles ne présentent pas de teneurs exagérées en substances toxiques (métaux et micropolluants organiques) facilite également leur réutilisation en terrains agricoles qui sont, au demeurant, peu importants sur l'île. Un stockage prolongé avant réutilisation pourrait peut être leur faire atteindre des concentrations en germes pathogènes et parasites compatibles avec une utilisation en maraîchage ?

Concernant les filtres à écoulement horizontal de **Totorossa**, dès lors que l'on a constaté que les abattements en matière organique et azote restent faibles au regard des surfaces mises en œuvre, leur principal intérêt réside dans leur aptitude potentielle à réduire considérablement les germes pathogènes. C'est donc désormais un point prioritaire à examiner en utilisant des procédures de prélèvement et d'analyses fiables pour garantir les abattements.

En attendant ces résultats, et afin de garder une certaine marge de sécurité, **un dimensionnement de 3 m<sup>2</sup> par EH mahorais pour un filtre planté de roseaux à écoulement horizontal de type « Totorossa » et de 1 m<sup>2</sup> par EH mahorais pour un filtre planté roseaux à écoulement vertical de type « Hachenoua » sera retenu.**

Avec un tel dimensionnement, la station d'Hachenoua pourra traiter 160 EH mahorais lorsque les deux filtres construits seront mis en fonctionnement, et 240 EH mahorais si on construit le troisième filtre.

Si nos extrapolations à partir de l'observation des filtres recirculés en métropole se confirment, on pourra ultérieurement traiter 240 EH mahorais lorsque les deux filtres

construites à Hachenoua seront mis en fonctionnement, et 360 EH mahorais si on construit le troisième filtre.

A Totorossa, les trois filtres construits devront pouvoir traiter la charge générée par 150 EH mahorais (alors qu'initialement, ils étaient conçus pour pouvoir traiter 150 EH « officiels »).

**A l'avenir, on privilégiera franchement les filtres plantés à écoulement vertical, surtout pour des installations d'une taille plus importante, où l'argument de l'emprise au sol devient critique dans un contexte de pression foncière assez forte.**

Les filtres plantés de roseaux à écoulement horizontal pourraient rester intéressants pour des petites installations, à cause de leurs plus faibles contraintes d'exploitation et leur plus grande aptitude à s'intégrer dans un espace paysagé - et cela surtout lorsque la topographie des lieux permettra de s'affranchir d'un équipement électromécanique. Ces stations doivent être conçues de façon à éviter toute apparition de l'eau en surface (voir prescriptions chapitre 6) Au cas où un rejet dans le sol ou sous-sol est envisagé, il n'y a pas lieu à priori d'affiner le traitement avec des surfaces plus importantes que 3 m<sup>2</sup> par EH mahorais.

Lorsqu'un abattement de l'azote total est recherché, on privilégiera, au moins pour les stations d'une taille plus importante, la combinaison d'un filtre vertical avec un filtre horizontal (ou la mise en charge du fond du filtre vertical, mais cela est encore expérimental), nettement plus efficace qu'une augmentation de la surface des filtres horizontaux (qu'il faudrait alors porter à 6 m<sup>2</sup> par EH mahorais).

Afin de tester une telle filière, il serait intéressant de faire un suivi de la station de Barakani sur la commune d'Ouangani dès qu'elle aura une charge suffisante, car sur cette station on a associé les deux types de filtres. Par ailleurs, sur cette station, la surface mise en œuvre sur le filtre vertical est seulement de 0,6 m<sup>2</sup> par EH mahorais.

Enfin, un nouveau partenariat permettrait de valoriser le suivi des filtres plantés de Hachenoua et Totorossa réalisé jusqu'à présent. Il serait ainsi possible de continuer à suivre le fonctionnement de ces stations, d'effectuer des suivis sur les nouveaux filtres plantés mis en place à Mayotte (Barakani, station Dewats de Trévani-Koungou) et de s'assurer de la qualité des analyses du laboratoire du SIEAM via la formation des agents du laboratoire et de l'analyse et de la comparaison des résultats via un laboratoire externe. Une demande de financement pourrait être déposée par le SIEAM en ce sens à l'ONEMA.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES CITEES

- Molle. P., Liénard. A., Boutin. C., Merlin. G., Iwema. A., (2005). How to treat raw sewage with constructed wetlands: an overview over the French systems. *Wat. Sci. Tech.* **51**(9). 11-21.
- Prost-Boucle S., Molle P. (2010). Recirculation on a single stage of vertical flow constructed wetland: treatment limits and operation modes. Preprints de la 12<sup>ème</sup> conférence IWA sur les Marais Artificiels. 3 – 9 Octobre 2010. Venise. Italie. 9 pages.

## **ANNEXES**

### **1. Conventions**

- 1-1. Convention SIEAM – SINT
- 1-2. Convention SIEAM – Cemagref

### **2. Filtres plantés avant 2006**

- 2-1. Compte rendu de mission - Cemagref - mars 2003
- 2-2. Compte rendu de mission - Cemagref - mars 2006
- 2-3. Rapport synthétique suivi des FP - SIEAM - juin 2006
- 2-4. Rapport de mission suivi des FP - SOGEA - septembre 2006
- 2-5. Test d'évaporation et d'absorption - SIEAM - juillet 2006

### **3. Filtres plantés après 2006**

- 3-1. Rapport de suivi - SINT – septembre 2007
- 3-2. Synthèse du suivi 2007-2008 - SINT - septembre 2008
- 3-3. Evaluation des méthodes d'analyses - Cemagref – décembre 2008
- 3-4. Comité de pilotage – présentation SINT et Cemagref – mai 2010
- 3-5. Point sur la station Hachenoua – Cemagref – juin 2010
- 3-6. Synthèse des analyses 2008-2010

### **4. Récolements (plans)**

- 4-1. Récolement de la station de Hachenoua
- 4-2. Récolement de la station de Totorossa
- 4-3. Seuil en V – tableau de correspondance

### **5. Publications**

- 5-1. Publication pour la conférence IWA (International Water Association) de 2006
- 5-2. Publication pour la conférence IWA (International Water Association) de 2010