



HAL
open science

Fonctionnement et diagnostic des filtres plantés de roseaux à écoulement vertical : retour d'expérience et perspectives en Alsace

Jean Grunenberger

► **To cite this version:**

Jean Grunenberger. Fonctionnement et diagnostic des filtres plantés de roseaux à écoulement vertical : retour d'expérience et perspectives en Alsace. Sciences de l'ingénieur [physics]. 2012. dumas-01654757

HAL Id: dumas-01654757

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01654757>

Submitted on 31 Jan 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Mémoire de fin d'étude

**Fonctionnement et diagnostic des filtres plantés
de roseaux à écoulement vertical**
Retour d'expérience et perspectives en Alsace



Jean Grunenberger
Promotion Fes
Formation d'ingénieur sous statut apprenti

Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme d'ingénieur de l'ENGEES

Juillet 2012
Début apprentissage : 1 Novembre 2009

Mémoire confidentiel

Remerciements

Avec ces quelques lignes je souhaite remercier MM. Serge Bitzenhoffer et Thierry Hils pour le soutien et l'aide qu'ils m'ont apportés dans ce travail. Je leur suis particulièrement reconnaissant pour la confiance qu'ils m'ont accordée.

Je remercie M. Adrien Wanko, qui a accepté d'être mon tuteur école et qui m'a suivi dans la réalisation de ce projet.

J'ai eu la chance de croiser plusieurs fois la route de MM. Antoine-Georges Sadowski, Grégoire Jost (Bureau d'étude Sinbio, 67), Georges Reeb et Etienne Dantan (Atelier Reeb, 67), je les remercie chaleureusement pour les échanges que j'ai partagé avec eux.

Je remercie mon père qui m'a stimulé dans l'apprentissage de l'utilisation des systèmes de gestion de base de données.

Un grand merci à ma femme qui a su me soutenir tout au long de ce travail.

Merci à tous les maires, adjoints et employés communaux qui ont accepté de me consacrer du temps pour me faire visiter leur station et m'entretenir au sujet de leur fonctionnement.

Enfin, je souhaite remercier tous les collaborateurs de l'entreprise Olry Arkedia, qui au travers de ce travail et plus généralement tout au long de ces 3 dernières années, m'ont fait bénéficier de leurs connaissances et de leur expérience dans mon apprentissage.

Résumé

L'entreprise Olry Arkedia a construit le premier filtre planté de roseaux d'Alsace, en 1994, et plus d'une vingtaine d'autres stations de traitement des eaux usées de ce type depuis. Dans un contexte de démarche qualité, une étude du fonctionnement de 16 stations est réalisée. Elle étudie les évolutions du comportement des filtres plantés de roseaux à écoulement vertical face à leur vieillissement. Après une synthèse bibliographique qui s'attache à décrire les éléments clés du fonctionnement des filtres ainsi que les facteurs qui peuvent influencer leur vieillissement, plusieurs résultats sont énoncés. Les niveaux de performances sont d'abord discutés en fonction des autorisations de rejet auxquelles sont liées les stations, puis ils sont analysés en fonction de l'âge des ouvrages. Il apparaît que les toutes premières stations se différencient des suivantes par des niveaux de performances et des durées de vie moindres. Des dysfonctionnements de gravité variables sont recensés. Ils forment la base pour des éléments de diagnostics établis dans le but de caractériser l'état d'un filtre et pour proposer des mesures correctives les cas échéant. Ce travail s'achève par une étude de marché, concernant les travaux qui touchent à la construction ou la réhabilitation d'ouvrages de traitement des eaux usées pour les collectivités de moins de 2000 habitants, sur le territoire français compris dans un rayon d'environ 200 km autour de Colmar, siège d'Olry Arkedia.

Abstract

Olry Arkedia enterprise built the first Alsatian reeds bed filters in 1994, and more than twenty others up-to today. In a context of quality approach, the main operations of sixteen constructed wetland, composed by reeds bed filters were monitored/supervised. The main objective is to study the impact of aging vertical flow reed beds on their operation, performance in particular. First of all the operating condition of such constructed wetland and also the key operational factors which are influencing the aging filters are described. Secondly the methodology is explained. In the third part, we discuss some results and propose 3 tools, to help reed beds filter monitoring. Reed beds performances are first discussed according to their design specifications, rules and regulatory, then according to the age of the plant. It appears that the first-built reed beds are less efficient and have a shorter service life than the next generation. Failures, of varying severity, are reported and form the basis of diagnose elements. Diagnose tools are given to characterize the filters condition and to propose some corrective actions when it is needed. This work ends with a market research, concerning wastewater treatment plant for small communities work, within a distance of 200 km of Colmar, the company headquarters.

Sommaire

Remerciements.....	3
Résumé	5
Abstract.....	5
Sommaire	6
Liste des tableaux	8
Liste des figures	8
Abréviations utilisées dans le texte	10
Glossaire.....	11
Introduction	13
I. Etat de l’art : étude bibliographique	15
1.1. Historique de la filière.....	15
1.2. La réglementation	16
1.2.1. Les principaux textes appliqués aux agglomérations de moins de 2000 EH actuellement en vigueur	16
1.2.2. La définition des niveaux de rejets	17
1.3. Fonctionnement de la filière.....	18
1.3.1. Les filtres plantés de roseaux.....	18
1.3.2. Fonctionnement des filtres planté de roseaux à écoulement vertical	19
1.3.3. Le traitement.....	21
1.3.4. La végétation.....	24
1.4. Vieillesse de la filière	25
1.4.1. La conception	25
1.4.2. Les travaux	26
1.4.3. L’entretien – l’exploitation.....	26
1.5. Verrous actuels et perspectives de la filière	30
1.5.1. Les verrous techniques	30
1.5.2. La modélisation	30
1.5.3. Nouveaux modes de fonctionnement pour les filtres plantés de roseaux à écoulement vertical	31
1.5.4. Travail sur les communautés végétales	31
1.5.5. Traitement des autres pollutions.....	32
II. Méthodes d’analyse des données.....	33
2.1. Collecte de données.....	33
2.1. Le traitement des données	34
2.2. Choix des paramètres	34
III. Résultats et discussion	37
3.1. Les FPRv respectent-ils leurs autorisations de rejets ?.....	37
3.2. Effet de l’âge sur les performances des filtres.....	40

3.2.1.	Effet de l'âge sur les performances des filtres.....	40
3.2.2.	Premières années de fonctionnement des filtres.....	40
3.2.3.	Analyse de l'évolution des performances avec l'âge.....	43
3.3.	Eléments de diagnostic des dysfonctionnements.....	48
3.3.1.	Description et discussion des désordres rencontrés.....	48
3.3.2.	Lien entre hydraulique et performances épuratoires.....	56
IV.	Perspectives de travaux.....	59
4.1.	Systèmes de traitement à créer.....	59
4.2.	Renouvellement du patrimoine.....	61
4.3.	Autres travaux.....	63
4.4.	Profil moyen d'une STEU.....	64
	Conclusion.....	66
	Bibliographie.....	67
	Bases de données.....	71
ANNEXE I.	Préparation des données pour l'analyse factorielle des correspondances multiples (AFCM).....	72
ANNEXE II.	Représentation graphique des résultats de l'AFCM.....	74
ANNEXE III.	Synthèse des dysfonctionnements observés sur les stations.....	75

Liste des tableaux

TABLEAU 1. LES CHANGEMENTS IMPORTANTS DANS LA CONCEPTION DES FILTRES PLANTES DE ROSEAUX. EXTRAIT DE COOPER (2009).....	16
TABLEAU 2. PERFORMANCES MINIMALES DES STATIONS D'EPURATION DES AGGLOMERATIONS DE MOINS DE 2000 EH. SOURCE: ARRETE DU 22 JUIN 2007.	17
TABLEAU 3. SYNTHESE DES PERFORMANCES DES FPRV ET FPRH.	19
TABLEAU 4. REPARTITION DU TRAITEMENT DE LA POLLUTION: LE ROLE DE CHAQUE ETAGE DANS UNE FILIERE A 2 ETAGES A ECOULEMENT VERTICAL. SOURCE : MOLLE <i>ET AL.</i> 2004. (CHARGE HYDRAULIQUE < 0.6 M/J), MOLLE <i>ET AL.</i> 2006A ET AERM 2007.....	22
TABLEAU 5. LISTE (NON EXHAUSTIVE) DES ETUDES DE SUIVI DE FPRV.	29
TABLEAU 7. DETAIL DES NON-CONFORMITES : PART DUE AUX CONCENTRATIONS DE SORTIE TROP ELEVEES ET PART DUE A DES RENDEMENTS INSUFFISANTS. 38	
TABLEAU 8. MOYENNE DES RENDEMENTS EPURATOIRES OBSERVES SUR LES STATIONS. LA MOYENNE EST SUIVIE DE L'INTERVALLE DE CONFIANCE A 95% (LE NOMBRE DE BILANS EST INDIQUE ENTRE PARENTHESE).	41
TABLEAU 9. MOYENNE DES CONCENTRATIONS EN MG/L OBSERVEES SUR LES STATIONS. LA MOYENNE EST SUIVIE DE L'INTERVALLE DE CONFIANCE A 95% (LE NOMBRE DE BILANS EST INDIQUE ENTRE PARENTHESE).	42
TABLEAU 10. CARACTERISATION DE L'EFFLUENT EN ENTREE DE STEU ET CHARGE HYDRAULIQUE REÇUE PAR LE LIT DU 1ER ETAGE EN FONCTIONNEMENT SUR LES PREMIERES ANNEES DE FONCTIONNEMENT.	43
TABLEAU 11. INTERPRETATION DE L'AXE 1 DE L'AFCM (48,2 % D'INERTIE).....	44
TABLEAU 12. INTERPRETATION DE L'AXE 2 DE L'AFCM (27,5 % D'INERTIE).....	44
TABLEAU 13. COMPARAISON DES PERFORMANCES DES 2 GROUPES DE STEU. L'AXE HORIZONTAL INDIQUE L'AGE DE LA STATION (EN ANNEES), L'AXE VERTICAL INDIQUE LA CONCENTRATION OU LE RENDEMENT. QUELQUES MESURES EXTREMES N'ONT PAS ETE REPRESENTEES SUR LES GRAPHIQUES. .	45
TABLEAU 14. LISTE DE DYSFONCTIONNEMENTS OBSERVES SUR LE PARC DE STATIONS ETUDIE.....	49
TABLEAU 15. LES ORIGINES DES DYSFONCTIONNEMENTS HYDRAULIQUES ET LEURS CONSEQUENCES SUR LE TRAITEMENT.....	56
TABLEAU 16. CALCUL DE LA POPULATION (EN NOMBRE D'HABITANTS) NON COUVERTE PAR L'ASSAINISSEMENT COLLECTIF DANS L'EST DE LA FRANCE (DONNEES 2009). SOURCES : SERVICES EAU FRANCE ET INSEE.	59
TABLEAU 17. DETAIL DU NOMBRE DE STATION A RENOUELER PAR AN DANS LE PERIMETRE DE NOTRE ETUDE.....	62

Liste des figures

FIGURE 2. FILTRE PLANTE DE ROSEAUX A ECOULEMENT VERTICAL. SOURCE : CEMAGREF.	18
FIGURE 3. FILTRE PLANTE DE ROSEAUX A ECOULEMENT HORIZONTAL. SOURCE : UNIVERS NATURE.....	18
FIGURE 4. SCHEMA DE FONCTIONNEMENT POUR UN FPRV AVEC 1 ^{ER} ETAGE ALIMENTE PAR POSTE DE REFOULEMENT ET 2 ^{EME} ETAGE ALIMENTE PAR UN OUVRAGE DE BACHEE. SOURCE : BUREAU D'ETUDES SINBIO (MUTTERSOLTZ, 67).	20
FIGURE 5. LES INGREDIENTS DU BON FONCTIONNEMENT D'UNE STATION DE TRAITEMENT DES EAUX USEES.	25
FIGURE 6. LES COMPOSANTES DEFAVORABLES DU COLMATAGE: MECANISMES SIMPLIFIES. SOURCE: MAILLARD (1998 <i>IN</i> CHABAUD 2007).....	27
FIGURE 7. POURCENTAGES DE REJETS NON CONFORMES OBSERVES SUR L'ENSEMBLE DES BILANS 24H DISPONIBLES (43 BILANS 24H NON CONFORMES SUR 195 BILANS ETUDIES, SOIT UN TAUX MOYEN DE NON-CONFORMITE DE 23 %).	37
FIGURE 8. MEMES RESULTATS QUE FIGURE 7, MAIS AVEC UNE TOLERANCE DE 10% PAR RAPPORT AUX EXIGENCES (EN RENDEMENT ET CONCENTRATION) (19 BILANS 24H NON CONFORMES SUR 195 BILANS ETUDIES, SOIT UN TAUX MOYEN DE NON-CONFORMITE DE 10 %).	38
FIGURE 9. HISTOGRAMME DES CONCENTRATIONS EN DCO EN ENTREE DE STEU.	39
FIGURE 10. LIEN ENTRE AGE DES FILTRES ET TAUX DE NON-CONFORMITES.	40
FIGURE 11. RENDEMENTS MOYENS OBSERVES SUR LES FPRV CONSTRUITS PAR OLRY ARKEDIA ET COMPARAISON AVEC D'AUTRES ETUDES. EN ROUGE, LES VALEURS MINIMUM A ATTEINDRE DE L'ARRETE DU 22 JUIN 2007.	42
FIGURE 12. CONCENTRATIONS MOYENNES OBSERVEES EN SORTIE DE FPRV CONSTRUITS PAR OLRY ARKEDIA ET COMPARAISON AVEC D'AUTRES ETUDES...	42
FIGURE 13. TAUX DE CHARGES ORGANIQUES POUR LES 3 STEU CONSTRUITES EN 1994-95. SOURCE: SATESE 68.	46
FIGURE 14. TAUX DE CHARGE HYDRAULIQUE POUR LES 3 STEU LES PLUS ANCIENNES. SOURCE: SATES 68.	46
FIGURE 15. PERSPECTIVES DE TRAVAUX EN ASSAINISSEMENT COLLECTIF ET NON COLLECTIF DANS L'EST DE LA FRANCE. SOURCES : SERVICES EAU FRANCE ET INSEE..	60
FIGURE 16. REPARTITION DES STATIONS DES DE TRAITEMENT DES EAUX USEES (STEU) DE MOINS DE 2000 EH PAR TYPE DE TRAITEMENT DANS LES DEPARTEMENTS 25, 39, 54, 57, 67, 68, 70, 88 ET 90. SOURCE: BASE DE DONNEES ERU, ANNEE DE REFERENCE 2010.	61
FIGURE 17. AGE DES STATIONS DE TRAITEMENT DES EAUX USEES (STEU) DE MOINS DE 2000 EH DANS LES DEPARTEMENTS 25, 39, 54, 57, 67, 68, 70, 88 ET 90. SOURCE: BASE DE DONNEES ERU, ANNEE DE REFERENCE 2010. LA CONFORMITE ERU FAIT REFERENCE A LA MISE EN CONFORMITE DES EQUIPEMENTS DE LA STEU A LA DIRECTIVES EUROPEENNE « EAUX RESIDUELLES URBAINES » DE 1991.	62
FIGURE 18. ECHEANCES DES PROJETS DE CONSTRUCTION D'UNE STEU. SOURCE : ENQUETE REALISEE POUR OLRY ARKEDIA EN 2009 SUR LES DEPARTEMENT 25, 57, 67, 68, 88, 90.	63
FIGURE 19. COUT MOYEN D'UN FILTRE PLANTE DE ROSEAU COMPOSE DE DEUX ETAGES A ECOULEMENT VERTICAL. SOURCE: CHIFFRAGE OLRY ARKEDIA REALISE ENTRE 2003 ET 2012.	64

Abréviations utilisées dans le texte

CCTP	Cahier des clauses techniques particulières
DBO5	Demande biologique en oxygène à 5 jours
DCO	Demande chimique en oxygène
DD	Décanteur-digesteur
DOE	Dossier des ouvrages exécutés
EH	Equivalent habitant
FPR	Filtre planté de roseaux
FPRh	Filtre planté de roseaux à écoulement horizontal
FPRv	Filtre planté de roseaux à écoulement vertical
MES	Matières en suspension
NGL	Azote global ou azote total
SATESA	Service d'Aide Techniques à l'Exploitation des Systèmes d'assainissement
SATESE	Service d'Aide Techniques à l'Exploitation des Station d'Épuration
STEU	Station de traitement des eaux usées
Base de données ERU	Base de données « Eaux résiduaires Urbaines », éditée par le Ministère de l'Environnement, du développement durable et de l'énergie

Glossaire

Bilan 24h	Prélèvements d'eau effectués sur 24h, à intervalles de temps variables qui sont fonction de la valeur du débit de manière à constituer un échantillon moyen journalier, représentatif des flux de pollution entrant ou sortant d'une station (ou d'un filtre).
DBO5	Concentration en masse de l'oxygène dissous consommé, exprimée en mg/l, dans des conditions définies (5 jours à 20°C avec ou sans inhibition de la nitrification), par l'oxydation des matières organiques ou minérales de l'eau. Elle permet d'évaluer la quantité d'oxygène que le milieu récepteur devra pouvoir fournir pour assurer la dégradation aérobie de l'effluent qui y sera rejeté. Elle représente la partie biodégradable en 5 jours de la pollution organique, qui correspond à la pollution carbonée.
DCO	Concentration en masse d'oxygène, exprimée en mg/l, équivalente à la quantité de dichromate consommée lorsqu'on traite un échantillon d'eau avec cet oxydant dans des conditions définies (à chaud et en milieu acide concentré). La DCO permet l'estimation des matières organiques, dissoutes ou en suspension, contenues dans une eau résiduaire, et qui sont susceptibles d'être oxydées par un oxydant chimique puissant. Les matières organiques qui ont été ainsi oxydées ne correspondent pas nécessairement à des matières biodégradables.
Dénitrification	Réduction des nitrates et des nitrites pour libérer principalement de l'azote gazeux, généralement sous l'action des bactéries.
EH	Charge organique biodégradable ayant une demande biochimique d'oxygène en cinq jours (DBO5) de 60 grammes d'oxygène par jour. Cette unité correspond grosso modo à la pollution produite par un habitant.
Filière de traitement des eaux usées	Synonyme de procédé de traitement des eaux usées
Filtre	Un filtre est l'ouvrage composé d'une membrane d'étanchéité (le plus souvent), de granulats, des dépôts organiques et minéraux accumulés en surface du filtre et au sein des pores compris entre les granulats, des roseaux.
Fosse Imhoff ; décanteur-digester combiné	Ouvrage à deux étages dont l'étage supérieur est un décanteur et l'étage inférieur un digester anaérobie.
Lagune	Bassin de construction simple, le plus souvent en terre et destiné au traitement des eaux usées ; exemple : lagune naturelle, lagune d'aération; lagune de finition.
NGL	Concentration de l'azote, présent sous forme oxydée et réduite
Nitrification	Oxydation des ions ammonium par les bactéries. Généralement, les produits ultimes d'une telle oxydation sont des nitrates.
NTK ou Azote Kjeldahl	Concentrations en masse de la somme de l'azote sous forme organique et ammoniacal. L'azote organique est d'abord hydrolysé sous forme ammoniacale. L'ammoniaque/ion ammonium (présence de l'un ou de l'autre en fonction du pH) subit ensuite la nitrification.
Procédé de traitement des eaux usées	Un procédé de traitement des eaux usées est une technique de traitement des eaux usées. Il fait appel à des ouvrages (exemple : décanteur-digester, filtre, ouvrage de bâchées, ...), des équipements (exemple : pompes, surpresseur, sondes, automatismes, ...) et éventuellement des réactifs (exemple : chlorure ferrique, sulfate d'alumine, ...). Un procédé de traitement des eaux usées est à distinguer d'un procédé de traitement des boues. A l'exception du procédé « filtres

	plantés de roseaux », les boues provenant des stations de traitement des eaux usées doivent être traitées : soit par une filière locale, soit transportées puis traitées dans une unité plus importante, soit par une unité mobile de traitement.
Rendement épuratoire	Le rendement épuratoire (%) correspond au pourcentage de pollution traité par la station de traitement des eaux usées : $\text{Rendement épuratoire (\%)} = \frac{\text{Flux de pollution sortant } \left(\frac{kg}{j}\right)}{\text{Flux de pollution entrant } \left(\frac{kg}{j}\right)} \cdot 100$
Réseau de type séparatif	Réseau d'assainissement comprenant normalement deux canalisations, l'une véhiculant les eaux usées et l'autre les eaux de surface
Réseau de type unitaire	Réseau d'assainissement conçu pour véhiculer à la fois les eaux usées et les eaux de surface dans une même canalisation
Taux de charge hydraulique	La charge hydraulique est le volume journalier d'eau retenue pour le dimensionnement des ouvrages. Un taux de charge de 100 % indique que la station reçoit la totalité d'eau pour laquelle elle a été conçue. Un taux de charge de 200 % montre que la station reçoit le double du volume pour lequel elle avait été conçue.
Taux de charge organique	La charge organique est la charge de pollution retenue pour le dimensionnement des ouvrages. Un taux de charge de 100 % indique que la station reçoit la totalité de la charge de pollution pour laquelle elle a été conçue.

Sources principales : AERM 2007, Sadowski, Meier.

Introduction

Une entreprise de travaux n'a que rarement l'occasion de suivre l'évolution au fil des ans des ouvrages qu'elle a construits, en particulier des filtres plantés de roseaux. Dans la mesure où les travaux sont correctement réalisés, elle n'a plus de raison d'intervenir sur un ouvrage achevé. Pourtant, certains travaux ou certains équipements ne pourront se révéler défectueux qu'au bout de quelques années. Ce manque de connaissances concernant le vieillissement des filtres empêche également l'entreprise d'étayer ses arguments quand lui sont posées des questions à propos de la durée de vie des ouvrages et sur la façon dont ils vieillissent. Par ailleurs, l'entreprise manque d'informations sur les perspectives de marché, dans le domaine du traitement des eaux usées, que ce soit en termes de nombre d'installations à construire, de chronologie de lancement des projets ou du type de travaux (construction/entretien/réhabilitation).

C'est pour répondre à ces trois points et dans un contexte de démarche qualité, c'est-à-dire dans un processus d'amélioration continue, que s'inscrit ce travail. Il sera ensuite utilisé pour améliorer la prestation de travaux que l'entreprise propose aux collectivités territoriales, pour accompagner les exploitants sur de potentielles interventions d'entretien et de réhabilitation des filtres mais aussi pour améliorer la visibilité commerciale de l'activité. Ce projet est par là un travail sur le long terme, il constitue un pari sur l'avenir : celui de continuer à être reconnu comme un acteur régional compétent dans le domaine du traitement des eaux usées et des eaux pluviales.

Il existe plusieurs procédés de traitement des eaux usées adaptés aux petites collectivités, résumés dans le guide technique n°22 du FNDAE (1997) et dans un document édité par l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse (2007). Cette étude s'intéresse à un procédé en particulier : celui du traitement des eaux usées par filtres plantés de roseaux. Les filtres plantés de roseaux, qu'elle qu'en soit la configuration, (écoulement horizontal ou vertical) sont un procédé relativement neuf, et qui a fortement évolué dans la décennie qui a suivi les premiers chantiers. C'est en 1987 que le premier filtre à écoulement vertical fut installé en France pour traiter des effluents domestiques (commune de Gensac la Pallue, Charente). D'autres maires pionniers suivirent dans le début des années 90, devant parfois se battre avec les autorités compétentes pour faire reconnaître ce nouveau système, comme celui de Manspach, au sud du Haut-Rhin, qui réalisa une station de traitement des eaux usées par filtres plantés de roseaux d'une capacité de 500 EH en 1994. Il faut attendre le début des années 2000 pour que les règles de dimensionnement et les prescriptions concernant les matériaux et les équipements se stabilisent (AERMC, 2003 ; Liénard *et al.*, 2000 ; Molle *et al.*, 2004). Avec cette chronologie, on comprend mieux pourquoi les connaissances concernant le vieillissement des filtres plantés de roseaux n'en sont qu'à leur début.

La question transversale de ce travail est celle du lien entre le fonctionnement d'un filtre planté de roseaux à écoulement vertical et son âge. Il s'agit plus particulièrement d'étudier s'il y a un lien entre le vieillissement d'un filtre et ses performances, et de déterminer comment celui-ci peut-être caractérisé. On s'intéressera dans un premier temps à une synthèse bibliographique qui résume les éléments-clés du fonctionnement des filtres, recensant les premiers retours d'expérience disponibles et fournissant aussi un aperçu du contexte réglementaire. Sur la base de visites de terrain et d'analyses de bilans 24h, différents résultats sur le vieillissement des FPRv (filtres plantés de roseaux à écoulement vertical) seront ensuite discutés. Ils visent à identifier le vieillissement et les dysfonctionnements des FPRv puis à proposer des mesures correctives pour retarder ou supprimer leur apparition. Pour s'inscrire au mieux dans cette démarche qualité, et pour des raisons de confidentialité, seuls les filtres plantés de roseaux construits par Olry Arkedia (16 stations étudiées, toutes en Alsace) sont ici étudiés.

Organisée autour de la collecte et du traitement d'un grand nombre de données, deux problématiques s'opposent autour de cette étude: d'une part réussir à disposer d'un nombre de données suffisantes pour dégager des interprétations fiables, ce qui laisse moins de temps pour traiter des détails, et d'autre part, analyser de manière relativement détaillée chaque ouvrage pour en tirer des informations précises. Pour des raisons pratiques, (disponibilité des interlocuteurs, coût de déplacements, temps disponible) une seule visite a été programmée et réalisée sur chaque station. Il s'agissait donc d'envisager préalablement toutes les informations dont on pourrait avoir besoin, avant de réaliser une visite de terrain, tout en choisissant volontairement d'éliminer certains points afin de se concentrer sur l'essentiel.

I. Etat de l'art : étude bibliographique

1.1. Historique de la filière

L'histoire des filtres plantés tels qu'on les conçoit aujourd'hui débute dans les années 1950. C'est l'histoire d'une communauté de chercheurs qui s'est sans cesse agrandie, dans le sillage des travaux du Dr Käte Seidel et Reinhold Kickut et qui est, dès les années 1980, caractérisée par sa capacité à mettre en place des groupes de travail internationaux de même qu'un système de partage des connaissances (Cooper 2009, Vymazal 2011a). C'est aussi l'histoire d'un succès. Pour P. Cooper (2009), aucun process n'a eu autant de succès sur les 100 dernières années en Angleterre. A l'échelle de la France, le nombre d'installations mises en service à également connu une croissance exponentielle dans les années 90 et début des années 2000. Le ralentissement du nombre de constructions sur les années 2008 à 2010, visible sur la Figure 1, semble surtout dû à un délai de remontée des informations et de mise à jour de la base de données utilisée.

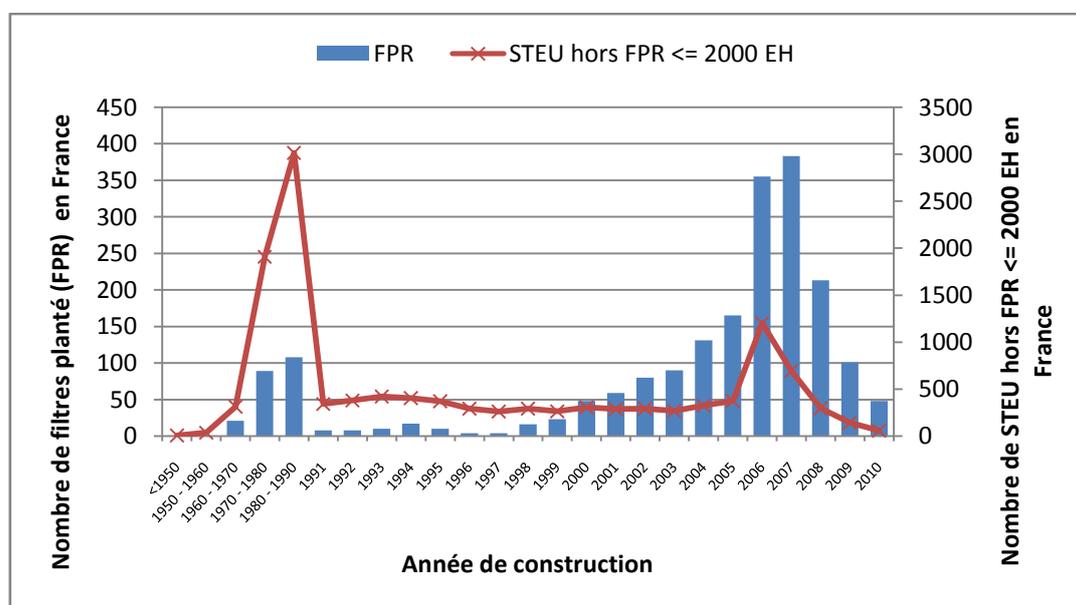


Figure 1. Evolution du nombre de filtre planté en France comparée aux autres filières. Source : base de données ERU.

Les filtres plantés tels qu'on les conçoit aujourd'hui trouvent leur genèse dans les expériences du Dr K. Seidel, menées durant les années 1950 et 1960. Elle testa notamment le rôle des macrophytes sur des eaux usées et des boues provenant de différentes origines. Son travail portait également sur l'amélioration des systèmes de traitement des eaux usées des petites communes, qui étaient à l'époque soit des fosses toutes eaux, soit des lagunes. Elle créa par exemple un premier étage avec un sol sableux à écoulement vertical pour permettre la rétention des boues en surface par filtration. Dans les années 1960, elle collabora avec Reinhold Kickut, de l'Université de Göttingen, qui développa un filtre planté à écoulement horizontal, dénommé « Root Zone Method ».

Synthétisant leur histoire, on distingue les étapes-clés suivantes (Cooper 2009 et Vymazal 2011a) :

1. Dans les années 70 et 80, pratiquement tous les systèmes (à l'exception de la France, par le biais du CEMAGREF à partir des années 80) étaient des filtres plantés à **écoulement horizontal**. Ils intervenaient en tant que système de **traitement secondaire**. Le matériau employé pour remplissage les lits était un sol sableux.

2. Vers le milieu des années 80, face au problème de colmatage des filtres, le sol sableux est remplacé par des graviers (de granulométrie 5-10 ou 6-12 mm).
3. A la fin des années 80, c'est la faible capacité d'oxygénation de ces systèmes qui fut mise en évidence : la réaction de nitrification n'était pas possible, et les taux d'abattement de la DBO5 restaient encore souvent insuffisants. C'est ce qui suscita un intérêt pour les filtres plantés à **écoulement vertical**. Ces systèmes sont non seulement plus efficaces (5 à 10 fois selon Cooper, 2009), mais nécessitent en outre beaucoup moins d'emprise au sol que les systèmes à écoulement horizontal.
4. Il faut attendre 1989 pour que soit publiées les premières indications sur la conception des filtres plantés de roseaux en Europe (European Guidelines).
5. Les filtres plantés à écoulement vertical se sont progressivement répandus dans les années 90 en France, Autriche et Angleterre. Ils étaient utilisés seuls, ou suivis d'un filtre à écoulement horizontal. Cependant ce n'est qu'en France qu'ils sont utilisés sans traitement primaire.

Tableau 1. Les changements importants dans la conception des filtres plantés de roseaux. Extrait de Cooper (2009).

Les changements importants dans la conception depuis 1985 avec, entre parenthèses, pourquoi ils ont été faits.		
Objet du changement	1985	2007
Calcul de la superficie	5 m ² /EH pour un FPRh en traitement secondaire	1.5 m ² /EH pour un FPRv en traitement secondaire (pour améliorer la nitrification, permet un meilleur transfert de l'oxygène dans le filtre)
Géomembrane	PEBD ¹ ou PEHD ²	PEBD [en France on pose encore beaucoup de PEHD] ou géomembrane bitumineuse (moins chère)
Granulats	Sol (mauvaise conductivité hydraulique)	Gravier de 5 à 10 mm + sable
Surface du filtre	Avec pente	Plane (empêche l'écoulement de surface)
Plantation	Sections de rhizomes, 4 sections/m ² (couverture lente du filtre)	4 plants/m ²
Entrée des effluents	Déversoir crénelé (cher à construire et colmatage rapide)	Canal avec encoches en V (facile à nettoyer et maintient un écoulement régulier)
Sortie et contrôle du niveau	Bras pivotants/batardeaux (les bras pivotants sont chers ; les batardeaux fuient)	Tubes plastiques (choix d'après le prix)

Ainsi, en l'espace d'une vingtaine d'années en France, cette filière de traitement des eaux usées est passée du statut de procédé mal identifié et source de méfiances (concernant ses performances et les potentielles nuisances olfactives) à la filière la plus préconisée (Figure 1) pour les stations de capacité inférieure ou égale à 2000 EH. Plusieurs raisons ont contribué à ce succès : un dimensionnement de la filière qui, à première vue semble relativement simple (pour les FPRv), comparé à une station à boues activées par exemple, une gestion de boues intégrées à la filière (produites de plus en faible quantités et fortement minéralisées), et des coûts d'investissement et d'exploitation relativement réduits.

1.2. La réglementation

1.2.1. Les principaux textes appliqués aux agglomérations de moins de 2000 EH actuellement en vigueur

La directive européenne du 21 mai 1991 relative au traitement des eaux usées urbaines (ERU) fixe des prescriptions minimales européennes pour l'assainissement collectif des eaux usées domestiques. Article 7 : « Les états membres veillent à ce que, au plus tard le 31 décembre 2005, les eaux urbaines résiduaires qui pénètrent dans les systèmes de

¹ Polyéthylène basse densité

² Polyéthylène haute densité

collecte fassent l'objet, avant d'être déversées, d'un traitement approprié [...] ». Le traitement approprié est défini comme suit : «le traitement des eaux urbaines résiduaires par tout procédé et/ou système d'évacuation qui permettent, pour les eaux réceptrices des rejets, de respecter les objectifs de qualité retenus ainsi que de répondre aux dispositions pertinentes de la présente directive et d'autres directives communautaires ».

Ainsi, pour les agglomérations de moins de 2000 EH, cette directive définit une date butoir (non respectée) et une obligation de moyens. La transcription de ce texte est inscrite dans le code général des collectivités territoriales (CGCT) : (articles R.2224-6 et R.2224-10 à R.2224-17 relatifs à la collecte et au traitement des eaux usées).

La directive cadre sur l'eau du 23 octobre 2000 (DCE) inscrit « les objectifs du traitement des eaux usées dans la perspective d'un retour à des situations de « référence » des milieux récepteurs aquatiques « très peu anthropisés » (et qui restent à définir) et dans l'optique de traitements ultérieurs minimaux pour une réutilisation [de l'eau] » (Duchène et al. 2002). Cette directive met également en place une série d'outil pour évaluer l'état des masses d'eaux, dont va dépendre le niveau de traitement à mettre en place.

L'arrêté du 22 juin 2007 relatif à la collecte, au transport et au traitement des eaux usées des agglomérations d'assainissement ainsi qu'à la surveillance de leur fonctionnement et de leur efficacité, et aux dispositifs d'assainissement non collectif recevant une charge brute de pollution organique supérieure à 1,2 kg/j de DBO5 (équivalent à 20 EH) fixe, entre autre, les performances minimales des stations d'épuration des agglomérations devant traiter une charge brute de pollution organique inférieure ou égale à 120 kg/j de DBO5 (équivalent à 2000 EH). Les exigences sont reprises dans le Tableau 2.

Tableau 2. Performances minimales des stations d'épuration des agglomérations de moins de 2000 EH. Source: arrêté du 22 juin 2007.

Paramètre	Concentration à ne pas dépasser	Rendement minimum à atteindre
DBO5	35 mg/l	60 %
DCO		60 %
MES		50%

1.2.2. La définition des niveaux de rejets

La définition des niveaux de rejets d'une STEU (station de traitement des eaux usées) fait appel à la fois à la réglementation et aux données techniques. En raison des nombreuses notions induites par les différents textes réglementaires, et du risque de confusion, l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse a publié plusieurs documents, d'une part afin que tous les concepteurs œuvrant sur le territoire du bassin Rhin-Meuse aient la même compréhension des variables de dimensionnement (AERM 2006), et d'autre part pour donner des méthodes de calcul des débits à traiter (AERM 2007). Le MEDDE³ a encore publié tout dernièrement (MEDDE 2012) une note sur le débit de référence du système d'assainissement.

Comme nous l'avons vu précédemment, pour les STEU traitant une pollution inférieure ou égale 2000 EH, les exigences minimales de traitement sont définies dans l'arrêté du 2 juin 2007. Mais, suivant la qualité du milieu dans lequel se fera le rejet de la STEU, l'arrêté d'autorisation (arrêté préfectoral) peut imposer des niveaux de rejets plus stricts.

L'éligibilité d'un projet à un financement de l'Agence de l'Eau dépend à la fois du niveau de priorité attribué à la commune, qui est calculé⁴ en fonction de l'état écologique actuel de la masse d'eau, l'impact de la collectivité et le risque d'infiltration mais également de la nature de travaux à réaliser et de leur emprise (AERM 2008b).

Ces divers critères montrent que, en théorie et dans la plupart des cas en pratique, la définition des niveaux de rejets pour une STEU doit suivre une démarche pratiquement normalisée. **On peut donc considérer que les stations étudiées ici seront représentatives de l'état de l'art sur l'emprise du bassin Rhin-Meuse.**

³ Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie

⁴ Cette méthode de calcul était établie pour le IXème programme de l'Agence de l'eau (2007-2012).

1.3. Fonctionnement de la filière

1.3.1. Les filtres plantés de roseaux

Les zones humides ou marais artificiels peuvent être classées selon différents critères. Brix (*in* Molle, 2003) les classe d'après les végétaux dominants, tandis que Langergraber (2008) utilise le fonctionnement hydraulique du système :

- Ecoulement de surface ou écoulement à surface libre (ex. : lagunes)
- Ecoulement souterrain (sous la surface des granulats)
 - o Filtre à écoulement vertical
 - o Filtre à écoulement horizontal

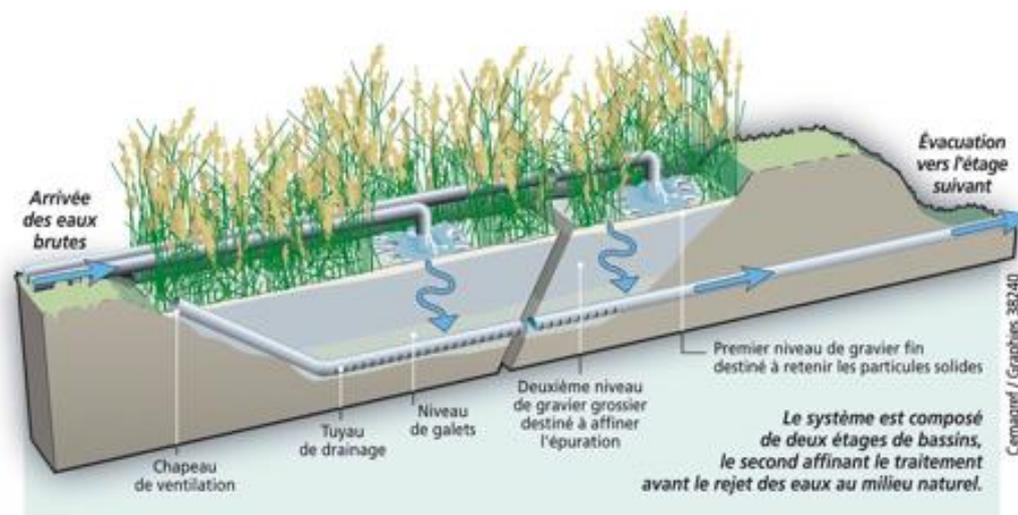


Figure 2. Filtre planté de roseaux à écoulement vertical. Source : CEMAGREF.

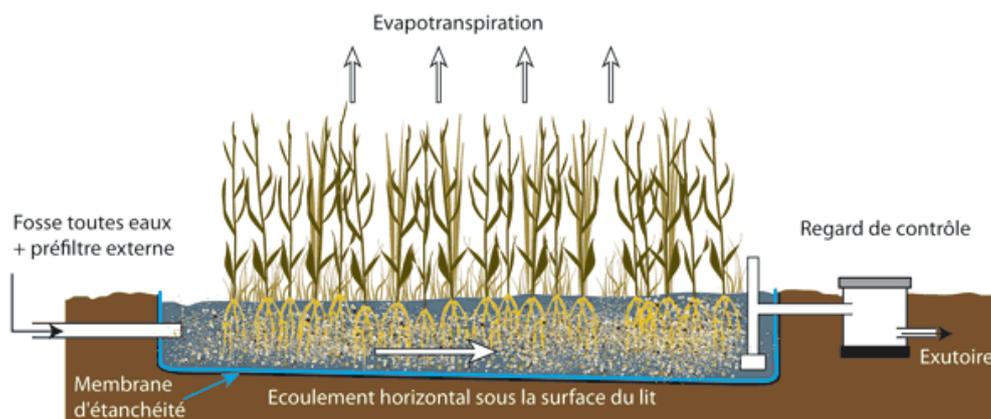


Figure 3. Filtre planté de roseaux à écoulement horizontal. Source : Univers Nature.

Dans cette étude, l'attention sera uniquement portée sur les filtres à écoulement vertical puisque, hormis 3 stations équipées d'un FPRh au 2^{ème} étage (et qui forment un cas particulier comme nous le verrons par la suite), toutes les autres comprennent 2 étages à écoulement vertical. La provenance des effluents étudiés sera considérée comme exclusivement domestique⁵. Ces deux dernières filières, bien que regroupées sous le même terme de « traitement biologique par cultures fixées sur support fin », ou « lit planté de roseaux » sont dimensionnées et fonctionnent de manière complètement différente. Leurs performances respectives sont décrites dans le Tableau 3.

⁵ Par opposition à des effluents d'origine industrielle.

Tableau 3. Synthèse des performances des FPRv et FPRh.

Type de pollution à traiter	Filtre planté de roseau à écoulement horizontal (FPRh)	Filtre planté de roseau à écoulement vertical (FPRv)
MES	Bon si traitement primaire	Très bon à excellent (sauf période de démarrage du filtre et 1ères bâchées après la période de repos)
Oxydation matière organique (DBO5 - DCO)	Insuffisant à bon si traitement primaire	Excellent
Oxydation pollution azotée : Nitrification	Mauvais	Très bon
Dénitrification	Très bon	Mauvais, sauf si présence d'une recirculation et/ou d'une zone saturée en fond de filtre

En France, les FPRv sont très majoritaires, seules quelques installations (souvent anciennes) comprennent un étage à écoulement horizontal. Il semble cependant que l'on se dirige à nouveau vers une utilisation des FPRh, maintenant que la complémentarité FPRv et FPRh est clairement établie pour le traitement de l'azote.

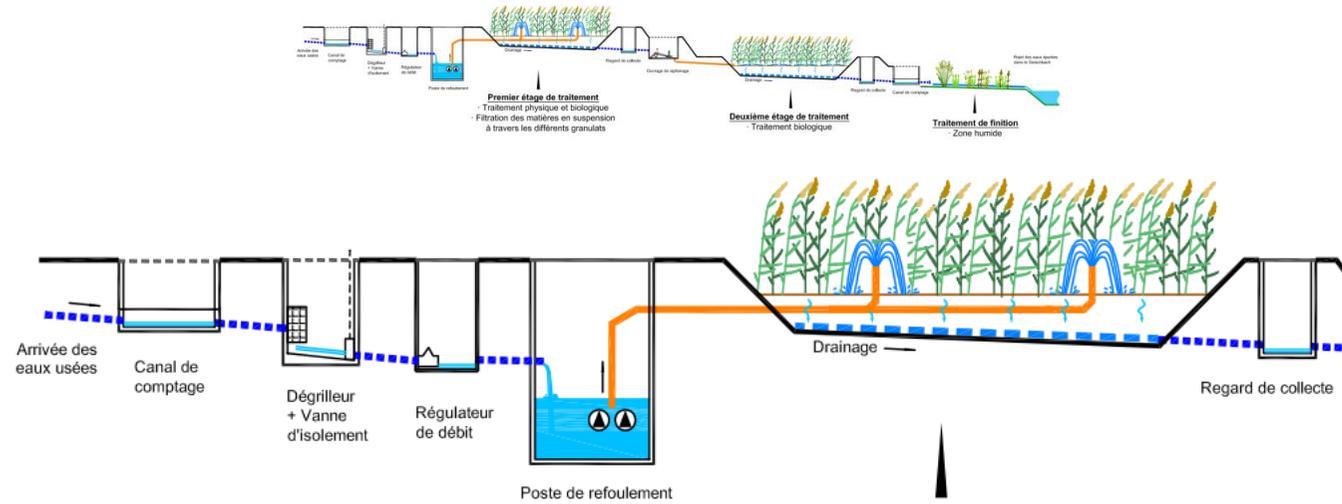
1.3.2. Fonctionnement des filtres plantés de roseaux à écoulement vertical

Les filtres plantés sont le produit d'une ingénierie qui cherche à optimiser les conditions de traitement de l'eau présentes dans la nature, dans les zones humides, en utilisant à la fois de l'eau, un substrat minéral, des plantes, une litière organique et des microorganismes. Le nombre élevé de paramètres physico-chimiques et biologiques influençant le système le rend difficile à comprendre et complexe à modéliser (Langergraber 2008). Sun *et al.* (2008) rappelle qu'il n'y a pas de voie métabolique ou de cinétique de réaction qui décrive l'ensemble de la complexité des processus de traitement.

Un filtre planté de roseaux est formé par un bassin étanchéifié, rempli par plusieurs couches successives de granulats (dont la granulométrie varie du sable au galet par profondeur croissante) d'une épaisseur globale variant entre 0.70 et 1.00 m, en surface de laquelle sont plantés des roseaux. Le filtre est muni d'un système de canalisations pour amener les effluents en surface du filtre et d'un système de drains pour les collecter en fond de filtre. Les végétaux les plus fréquemment rencontrés dans notre région sont les roseaux (*Phragmites Australis*) et quelquefois les massettes (*Typha latifolia*) (Molle *et al.* 2006a, Vymazal J. 2011b). A cela s'ajoutent les préconisations spécifiques à certains bureaux d'études : baldingère (*Phalaris arundinacea*) et glycérie (*Glyceria maxima*) pour Atelier Reeb (Strasbourg, 67).

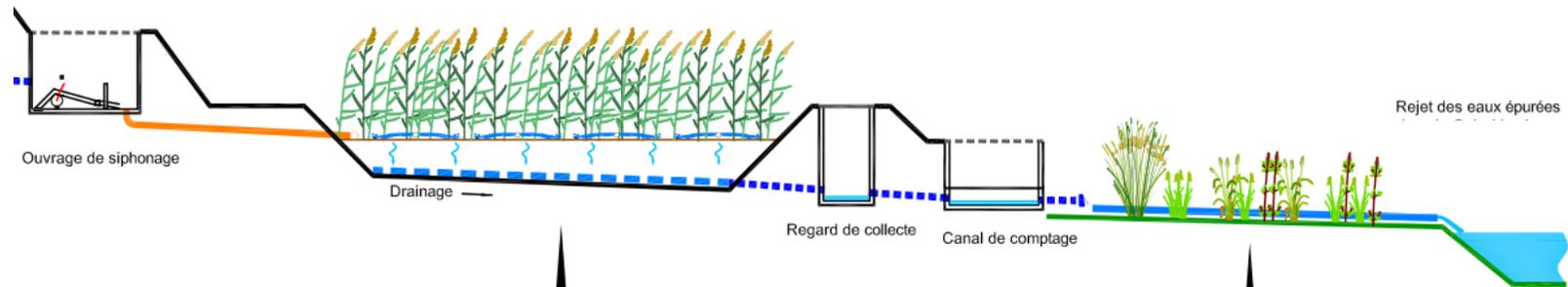
Vue
d'ensemble de
la filière

1^{er} étage



Premier étage de traitement
· Traitement physique et biologique
· Filtration des matières en suspension à travers les différents granulat

2^{ème} étage



Deuxième étage de traitement
· Traitement biologique

Traitement de finition
· Zone humide

Figure 4. Schéma de fonctionnement pour un FPRv avec 1^{er} étage alimenté par poste de refoulement et 2^{ème} étage alimenté par un ouvrage de bâchée. Source : Bureau d'études Sinbio (Muttersholtz, 67).

La configuration qui prédomine jusqu'à ce jour comprend 2 étages, c'est-à-dire deux ensembles de filtres disposés en série. Les eaux usées s'infiltrent dans le 1^{er} étage puis dans le deuxième. Les deux étages se différencient principalement par la taille des granulats qui composent la couche de surface du filtre, dite couche de filtration. Le 1^{er} étage dispose d'une couche de filtration en gravillons (de 2 à 8 mm) tandis qu'au deuxième étage une couche de sable est mise en place (de l'ordre de 0 à 4 mm) (MAP, 2007).

Deux clés pour comprendre le fonctionnement des filtres FPRv sont d'une part le mode d'alimentation du filtre en eaux usées et d'autre part le fractionnement du temps en période d'alimentation et période de repos. Bien que ces systèmes soient couramment appelés « marais artificiel », ils sont alimentés par à-coup. En amont de la station, une cuve stocke les effluents jusqu'à ce qu'un volume défini soit atteint. Les effluents sont ensuite conduits sur le 1^{er} étage de traitement, avec un fort débit, dans un réseau de canalisations sous pression. Pour les calculs de dimensionnement, on pourra se référer par exemple à MAP (2007), Molle *et al.* (2006a) et AERMC (2005). Le débit et la durée d'un épisode d'alimentation sont calculés pour dépasser la capacité d'infiltration du filtre, de manière à provoquer une répartition des effluents (flaquage) sur toute la surface du lit (Molle P. 2003). La capacité d'infiltration évoluant avec l'âge du filtre, ce n'est qu'après une certaine période (quelques mois à 2-3 ans) que le « bon » fonctionnement est possible.

Ce mode d'alimentation par bâchées est un des facteurs qui contrôle l'oxygénation du filtre, via la lame d'air emprisonné sous la lame d'eau et poussée, par effet piston, dans les pores du filtre. L'alimentation par à-coups, ou syncopée, permet au filtre de remplir régulièrement ses pores avec de l'air frais. Cet apport d'air/oxygène se fait également par le bas, via le réseau de drain installé en fond de filtre et qui est mis à l'air en plusieurs points, appelés cheminées d'aération ou cheminées de ventilation.

Le fractionnement entre période d'alimentation et période de repos est nécessaire pour réguler la biomasse présente dans le filtre. Les périodes de repos permettent aussi un renouvellement du stock d'oxygène dans les interstices du filtre et contribuent à une bonne minéralisation des boues déposées en surface du 1^{er} étage, réduisant ainsi les risques de colmatage (Molle 2003, Wanko 2005). Pendant ces phases de repos, les populations bactériennes sont réduites par prédation et dessiccation (AERM 2007). Des mesures réalisées sur un site expérimental (Evieu, dans l'Ain par Molle *et al.* 2006a) montrent que les émissions de gaz (NO₂, CH₄ et CO₂) pendant les périodes de repos sont deux fois plus importantes que celles mesurées lors des phases d'alimentation, attestant de l'importance de la part de pollution traitée durant les phases où le filtre n'est pas alimenté en eau. Pour gérer cette alternance, chaque étage compte plusieurs lits en parallèles. On observe le plus souvent une division en 3 lits pour le 1^{er} étage et 2 lits pour le 2nd étage. La durée d'une période de fonctionnement sur le 1^{er} étage est habituellement fixée à 3-4 jours, suivis d'un repos d'environ 7 jours (Molle *et al.* 2004, AERMC 2005). Un rythme 7 jours/14 jours se rencontre également par endroits (par exemple sur certains sites du Haut-Rhin). Le deuxième étage voit sa période de repos de même durée que celle de fonctionnement, le plus souvent égale à 7 jours.

L'accumulation des boues en surface du filtre est de l'ordre de 15 mm/an (Molle *et al.* 2004, en accord avec nos propres mesures). Les stations recevant des forts débits journaliers (présence d'eaux claires parasites dans le réseau et cas des réseaux unitaires) peuvent avoir des taux d'accumulation nettement moindres, jusqu'à pratiquement 0 mm/an sur les 3 premières années de fonctionnement (observation Olry Arkedia).

Lors du démarrage d'une station de traitement des eaux usées de type filtre planté de roseaux, l'ensemencement en micro-organismes de la station est amorcé grâce à ceux naturellement présents dans les réseaux d'eaux usées d'origine domestique.

Le dimensionnement d'un FPRv se fait sur la base de la charge hydraulique et la charge de pollution. On retiendra un ratio entre 2 et 2,5 m²/EH (AERM 2006 et 2007, Molle *et al.* 2004) pour se faire un ordre d'idée de l'emprise au sol nécessitée par un tel ouvrage.

1.3.3. Le traitement

Les filtres plantés de roseaux jouent un double rôle dans le système du traitement des eaux usées : d'une part ils abattent la pollution de l'eau, soit par traitement soit par rétention (avec stockage de la matière en surface du filtre) et d'autre part ils permettent le séchage et la minéralisation des boues (Cooper 2009). Ces deux fonctions ne sont

pas réunies automatiquement dans les autres systèmes, de type boues activées par exemple. C'est une des raisons qui expliquent la popularité de cette filière.

Les filtres plantés de roseaux fonctionnent sur le principe des cultures fixées sur supports fins. Ils sont aussi qualifiés de filière extensive, par opposition à intensive, de par l'importante emprise au sol dont ils ont besoin. Par cultures fixées sur support fin il faut entendre culture de bactéries sur des granulats fins, de type sable ou gravillons. Il s'agit bien de culture puisqu'une des problématiques du bon fonctionnement d'un filtre est la régulation des populations bactériennes.

Les différents mécanismes épuratoires à l'œuvre dans un filtre planté sont (Molle 2003) :

- filtration des MES
- Dégradation biologique par la flore bactérienne de la pollution carbonée et azotée
- Transformations chimiques (adsorption, précipitation)

Le traitement biologique de la pollution se fait majoritairement dans les 10 à 30 premiers centimètres du filtre (Wanko 2005, Liey 2010, Stefanakis et Tsihrintzis 2012a), dans le biofilm qui enveloppe les granulats (Cooper 2009) et dans la couche de dépôts (Molle 2006a) qui se forme en surface du filtre.

Tableau 4. Répartition du traitement de la pollution: le rôle de chaque étage dans une filière à 2 étages à écoulement vertical. Source : Molle et al. 2004. (charge hydraulique < 0.6 m/j), Molle et al. 2006a et AERM 2007.

Pollution à traiter	Etage 1		Etage 2	
	Description	Rendement observé	Description	Rendement observé
DCO	Abattement de la plus grosse partie	~ 71-79%	Abattement de la plus grosse partie	~ 56 %
DBO5	Abattement de la plus grosse partie	~ 80 %	Abattement de la plus grosse partie	
MES	Abattement de la plus grosse partie	~ 78-86 %	Finition du traitement, rétention des MES plus fines	~ 65 %
NTK (réaction de nitrification)	Adsorption des ions NH ₄ ⁺ sur la matière organique des dépôts pendant les périodes de fonctionnement puis minéralisation par voie biologique entre les bâchées et lors des périodes de repos (Mc Nevin 1999 in Molle et al. 2006a). Réaction limitée par la dégradation de la pollution carbonée car plus difficile.	~ 50-60 % suivant la charge entrante (Molle et al. 2006a)	Réaction de nitrification très faible	~ 7 %
Phosphore	Abattement variable, dépend de l'âge du filtre	~ 25%		

1.3.3.1. Filtration des Matières en suspension (MES)

La filtration des MES dépend de la granulométrie de la couche de surface et donc de l'âge des filtres. Le 1^{er} étage est conçu pour retenir la plus grosse partie des MES (voir Tableau 4). Le 2^{ème} étage, disposant d'une couche de filtration de granulométrie plus faible, assure un traitement de finition. Au total, environ 90 % des MES sont retenues puis minéralisés à hauteur de 61-65% (Molle et al. 2004). A raison d'environ 10-15 mm/an, les MES s'accumulent en surface du filtre pour former une couche meuble, appelée « dépôts du 1^{er} étage » ou « boues », bien que le terme de

boues englobe une multitude d'acceptations. Au fil des ans, ces dépôts progressent vers un état proche d'un humus (Lieu 2010). Après curage, ils sont le plus souvent valorisés en agriculture. L'épandage direct en champ est rare, les exploitants choisissent le plus souvent un transfert vers un centre de compostage ou une réutilisation comme amendement organique pour les espaces verts.

1.3.3.2. Traitement de la matière organique (pollution carbonée)

La majeure partie de la pollution carbonée, pour partie incluse dans les MES, (Duchène *et al.* 2002) est traitée par le 1^{er} étage (voir Tableau 4). Le 2^{ème} étage joue, là aussi, un rôle de finition. L'oxydation de la pollution a lieu dans le réacteur biologique qu'est le filtre. Chazarenc *et al.* 2010 observe que les hydrates de carbone et les acides carboxyliques sont plus facilement assimilés lorsque les filtres sont en fonctionnement. Une observation à rapprocher de celle de Molle (2003) et Molle *et al.* (2004) qui observent un meilleur abattement de la DCO lorsque les bâchées sont rapprochées (voir Tableau 15 p. 56).

Stefanakis et Tsihrintzis (2012a), à travers une expérimentation menée sur 10 pilotes de 0,82 m² pendant 3 ans, trouvent que la présence de drains d'aération dans les filtres augmente le traitement de la matière organique d'environ 5%.

1.3.3.3. Nitrification

Le processus de nitrification est un processus aérobie. Il a donc lieu là où de l'oxygène libre (O₂) est présent :

- couche superficielle du filtre
- fond du lit, car apport d'O₂ par les drains.

La réaction de nitrification se fait en deux temps, en suivant le rythme d'alternance des filtres. Les ions NH₄⁺ (on considère que l'azote organique ammonifiable est rapidement transformé en NH₄⁺, Duchène *et al.* 2002) se fixent sur la matière organique lors de la phase d'alimentation, puis ils sont oxydés en nitrates (NO₃⁻) lors de la phase de repos. Par conséquent, la vitesse de passage des ions ammonium dans le milieu et donc leur temps de séjour est un facteur limitant dans la réaction de nitrification. Il s'agirait même du principal facteur limitant, devant la température et l'oxygénation (si température > 2°C et absence de couche saturée en fond de filtre) d'après Molle *et al.* (2006a). D'où l'importance de la couche de dépôt sur le 1^{er} étage. Car en plus de constituer un substrat de matière organique sur lequel les ions ammonium peuvent venir s'adsorber, elle freine et régule l'infiltration de l'effluent dans le filtre. Chazarenc *et al.* (2010) observait que les communautés de microorganismes présentes dans le filtre semblaient mieux assimiler les amines (azote organique) et les composés phosphatés lors des périodes de repos.

La surface du filtre exerce également une influence sur la réaction de nitrification : augmenter cette surface signifie diminuer la lame d'eau journalière reçue et donc donner davantage de temps au filtre pour s'oxygéner (AELB 2008a ; Molle *et al.* 2006a). Molle *et al.* (2004) cite également le débit d'alimentation du filtre comme possible facteur clé dans l'efficacité de la réaction de nitrification : si le débit d'alimentation augmente, les durées bâchées sont réduites et les périodes de repos sont allongées. Autre facteur important : la présence de drains d'aération en fond de filtre réduit les concentrations du rejet en NTK et N-NH₄⁺ jusqu'à 10% (Stefanakis et Tsihrintzis 2012a).

On observe par contre une chute des rendements dès lors qu'il y a présence d'une couche saturée en fond de filtre (Molle *et al.* 2006a). Notons cependant que ce résultat est contredit par une des stations que nous avons étudiées montrant des rendements systématiquement supérieurs à 85 %, et même supérieurs à 95% la plupart du temps. Kadlec (2008, *in* Ayaz *et al.* 2012) montre également qu'une perte de végétation diminue les taux de nitrification dans le filtre. Enfin, de nombreuses études (Stefanakis et Tsihrintzis 2012a, Molle *et al.* 2006) montrent que la réaction de nitrification est, parmi toutes les transformations qui ont lieu dans le filtre, celle qui est la plus sensible à la température.

Les mécanismes de transformation de l'azote font actuellement l'objet d'une littérature abondante. Parmi les différents moyens de traitement envisagés (voir aussi 1.3.3.4 La dénitrification), Wallace et Austin (2008) proposent

le process ANAMMOX, qui a recours à la bactérie anammox. Cette bactérie, à partir d'un effluent riche en ammonium ($> 0.12 \text{ kg/NH}_4/\text{j}$) et pauvre en oxygène, est capable d'utiliser une partie des ions ammonium transformés en nitrites, pour oxyder le reste des ions ammonium directement en azote gazeux.

1.3.3.4. La dénitrification

La réaction de dénitrification – transformation des nitrates en azote gazeux – nécessite un environnement en conditions anoxiques (présence de nitrates mais absence d'oxygène libre). Or, un FPRv fonctionnant correctement ne permet pas, hormis peut être quelques hétérogénéités du filtre très localisées, le développement de telles conditions. Les rendements en azote global ou NGL seront donc faibles, de l'ordre de 40 % (AERM 2007). C'est pour cette raison que se développent de plus en plus de filières de traitement comprenant un étage à écoulement horizontal ou une zone saturée en fond de filtre à écoulement vertical et/ou une recirculation de l'effluent.

Plusieurs études (Sklarz *et al.* 2010, Ayaz *et al.* 2012) montrent que la mise en place d'un système de recirculation, associé à une filière comprenant au moins un filtre à écoulement horizontal et un filtre à écoulement vertical (dénommé « filière hybride »), permet d'atteindre des résultats tout à fait satisfaisants concernant les rejets de nitrates dans le milieu récepteur (concentration de rejet entre 15 et 30 mg/l et rendement en NGL de 66% avec un taux de recirculation entre 100 et 200%, pour Ayaz *et al.* 2012).

Molle *et al.* (2008) teste le potentiel d'une filière comprenant un premier étage à écoulement vertical puis un deuxième à écoulement horizontal et propose un dimensionnement permettant de fiabiliser la réaction de dénitrification.

1.3.3.5. Traitement du Phosphore

Voir 1.5 Verrous actuels et perspectives de la filière p. 30.

1.3.4. La végétation

Le roseau commun (*Phragmites australis*) est le végétal le plus utilisé sous nos latitudes car il présente une bonne résistance aux conditions rencontrées (longues périodes submergées du filtre puis période sèche, fort taux de matières organiques) (AERM 2007). Il est de plus un bon colonisateur et a tendance à former des communautés monospécifiques (Havens *et al.* 2003).

De nombreuses études mettent en évidence l'influence positive des plantes sur l'abattement de la pollution. Stefanakis et Tsihrintzis (2012a) observent des rendements épuratoires supérieurs de 6, 10 et 11 % pour respectivement la matière organique (DCO et DBO5), l'azote et le phosphore. Le rôle des plantes et des microorganismes qui leur sont associés au niveau de la rhizosphère est multiple. Le terme de phytoremédiation est quelquefois utilisé (Tapia Padilla 2010) pour décrire l'ensemble des actions des végétaux :

- Ils maintiennent une conductivité hydraulique dans le filtre c'est-à-dire qu'ils empêchent ou retardent toute apparition de colmatage au sein de la couche superficielle du filtre (**contrôle hydraulique**). Cela, ils le réalisent à l'aide de 1) la pénétration et la croissance de leurs rhizomes dans la matrice granulaire et 2) par le mouvement de leur tiges qui entretient un orifice à la base du plant (Molle *et al.* 2006b, Cooper 2009). C'est une des raisons pour laquelle la conductivité hydraulique du filtre apparaît plus élevée en été, lorsque les tiges sont plus hautes et donc davantage soumis au mouvement du vent. La croissance des rhizomes influe sur la décompaction du sol ainsi que sur la création de cheminements d'écoulements préférentiels.
- **Oxygénation** du massif via un transport par les racines.

- Ils créent un environnement autour des rhizomes (la rhizosphère) particulièrement favorables à la fixation et à la croissance de micro-organismes (**phytostimulation**), tels que les micro-organismes cellulolytiques (AERM 2007), responsable de la dégradation de la pollution soluble et de la minéralisation des dépôts organiques. Ils préservent également les filtres des fortes variations de températures : ombre en été (participe aussi au maintien d'une hygrométrie nécessaire à la biomasse bactérienne), protection vis-à-vis du gel en hiver (si les roseaux sont faucardés⁶ au printemps) (AERM 2007).
- Stockage de la pollution (**phytoextracion**). La quantité de matière stockée par les roseaux reste néanmoins négligeable comparée aux flux à traiter : Stefanakis et Tsihrintzis (2012a) calcule que cela représente de 1,4 à 4,0 % pour l'azote et de 0,2 à 1,1 % pour le phosphore de la charge totale reçue par le filtre. A titre de comparaison, les rendements épuratoires de la réaction de nitrification atteignent facilement 70 à 85 % (Stefanakis et Tsihrintzis 2012a, Molle *et al.* 2004).
- Dégradation des polluants via une activité enzymatique (**phytodégradation**)
- Participent à la volatilisation de certains composés organiques (**phytovolatilisation**)
- Rôle dans l'**intégration paysagère**

L'énumération des contributions que la plante apporte au fonctionnement d'un filtre planté montre les multiples dimensions des recherches entamées par le Dr Seidel, dans les années 1950.

1.4. Vieillessement de la filière

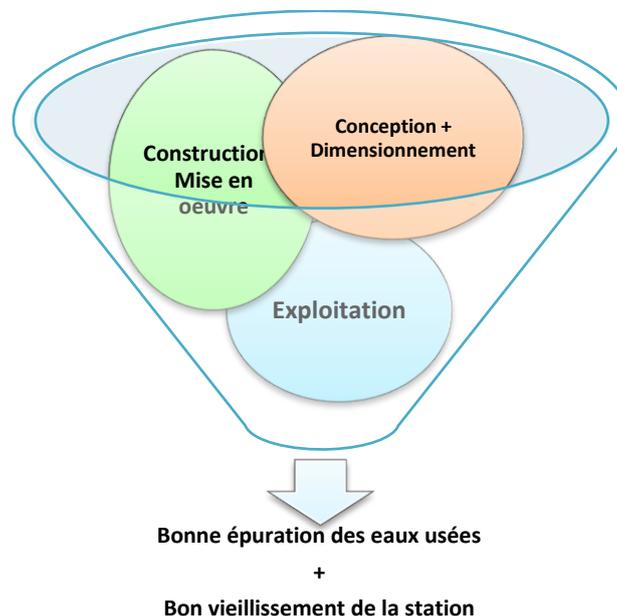


Figure 5. Les ingrédients du bon fonctionnement d'une station de traitement des eaux usées.

1.4.1. La conception

Les règles de dimensionnement des filtres, bien qu'établies à partir de relations empiriques (Cooper 2009) donnent, lorsqu'elles sont respectées, des résultats satisfaisants. Il existe pourtant des cas où d'autres ratios sont utilisés (AELB 2008a, CEMAGREF 2008), plutôt pour réduire les surfaces des filtres dans le but de réduire les coûts de

⁶ Le faucardage désigne l'opération qui consiste à couper et exporter les roseaux et autres herbacées poussant dans l'eau des fossés, rivières, canaux, watingues ou watgangs et autres étangs et surfaces toujours en eau. Source : Wikipedia.

construction. Très souvent alors, des dysfonctionnements majeurs apparaîtront sur la filière dès les premières années de fonctionnement.

Il faut garder à l'esprit que même si les FPR sont des systèmes déjà largement étudiés, il reste difficile de relier clairement l'impact du dimensionnement sur les rendements épuratoires (Molle *et al.* 2004). Le facteur prudence intervient donc également dans la conception de la filière.

La grande difficulté dans la conception d'un FPRv, et de manière générale de tout système de traitement des eaux usées, est d'estimer les charges de pollution et charges hydrauliques qui vont arriver à la station. Ce sont eux pourtant qui conditionnent la taille de la station. Il semble pourtant que toutes les préconisations (AERM 2006 et 2007, MEDDE 2012) ne soient pas toujours intégrées aux études. Ces estimations de charges sont d'autant plus importantes lorsqu'il y a possibilité d'avoir de gros volumes d'eau qui arrivent sur la station, c'est à dire en présence d'un réseau unitaire et/ou d'arrivée d'eaux claires parasites dans le réseau. Soulignons que c'est dans ces derniers cas de figures que les estimations sont les plus difficiles à réaliser.

1.4.2. Les travaux

L'impact des travaux réalisés par l'entreprise sur le vieillissement de la station est conditionné par :

- Le choix des matériaux (granulats, dispositifs d'étanchéité) et des équipements qu'elle propose de mettre en œuvre
- Le soin qu'elle apporte à la mise en œuvre des différents matériaux et équipements
- Le respect des plans d'exécution et des choix de fournitures
- La plus-value dans la qualité de l'ouvrage qu'elle amène grâce à son expérience

1.4.3. L'entretien – l'exploitation

Le point clé de l'entretien d'un filtre est la gestion de son colmatage. La « filière française », dont la première étape de traitement est en général le passage d'eaux usées brutes par un filtre vertical, a vocation à subir un colmatage (Knowles *et al.*, 2011), mais il doit rester contrôlé (Molle *et al.*, 2006b). Le colmatage comporte des composantes favorables (voir Figure 6), aussi bien que défavorables pour le fonctionnement d'un système d'infiltration-percolation (Chabaud 2007). Un colmatage trop important devient synonyme de dysfonctionnement car il empêche l'oxygénation du filtre et peut provoquer à terme le passage des effluents par le by-pass (trop plein). Un colmatage modéré, au contraire, influe positivement sur le fonctionnement hydraulique du filtre et sur ses performances épuratoires (voire 3.3.2 p.56).

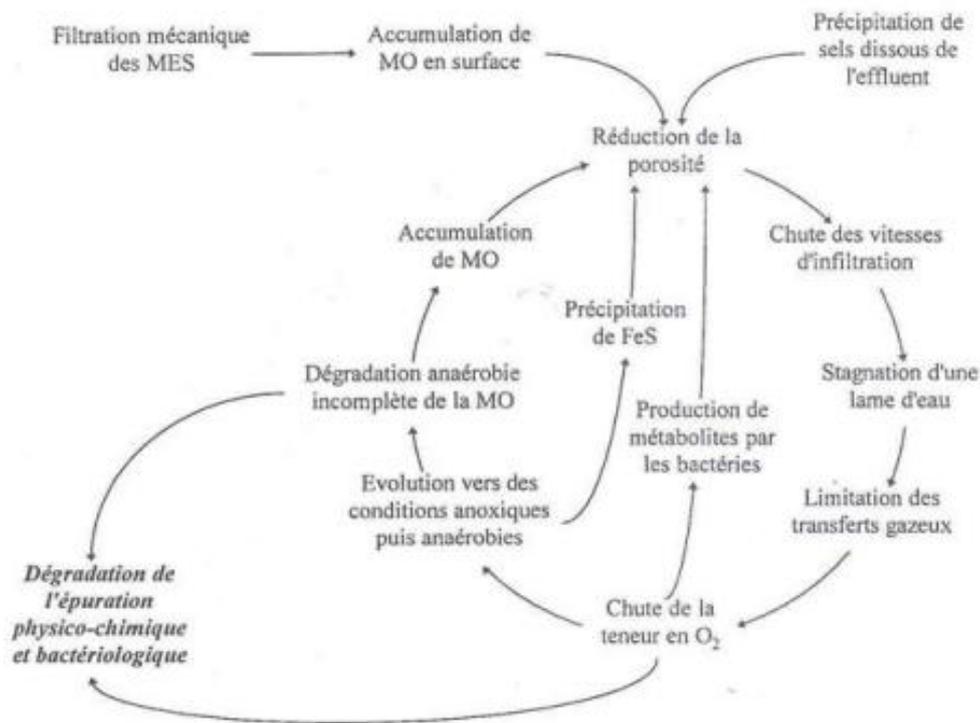


Figure 6. Les composantes défavorables du colmatage: mécanismes simplifiés. Source: Maillard (1998 in Chabaud 2007).

Lefèvre (1988 in Wanko 2005) décrit 3 phases dans le développement du colmatage :

- Phase 1 : longue, avec une vitesse d'infiltration qui baisse légèrement ;
- Phase 2 : très brève, caractérisée par une brusque chute des vitesses (la rapidité du colmatage est également soulignée par Langergraber *et al.*, 2003 in Knowles *et al.*, 2011) ;
- Phase 3 : phase d'anaérobie, durant laquelle la vitesse d'infiltration tend vers une valeur limite ;

Plusieurs formes de colmatage se rencontrent et se cumulent dans un filtre (Wanko 2005, Molle 2003):

- **Le colmatage physique**, qui résulte principalement d'une occupation des pores par des particules fines, d'origine minérale. Ce colmatage dépend donc surtout de la quantité de MES présentes dans l'effluent en entrée de station et des granulométrie et porosité de la couche superficielle du filtre. Ce type de colmatage guette particulièrement les réseaux unitaires, car ils véhiculent une charge importante de MES lors des épisodes pluvieux.
- **Le colmatage chimique**, causé soit par un dépôt par précipitation, soit par une altération de la structure du massif suite à des réactions de dissolution et cristallisation. Ce colmatage, qui semble irréversible, intervient dans des proportions beaucoup plus faibles que le précédent, sauf peut-être dans le procédé RhizoSTEP® (CEMAGREF 2008) où le substrat calcaire sera beaucoup plus sensible face aux équilibres de dissolution/précipitation, notamment dans les régions où l'eau provenant du réseau d'eau potable est très peu minéralisée (eau agressive).
- **Le colmatage biologique**, très intimement lié à la charge organique et hydraulique reçue par le filtre et à son rythme d'alternance entre périodes de repos et périodes d'alimentation. Le colmatage biologique résulte d'une accumulation de biomasse, en surface du filtre, ou au sein des pores, dans le filtre. D'après Börner *et al.* (1998 in Molle 2003), le colmatage biologique représenterait environ 25 % du colmatage physique.
- **Le colmatage végétal**, induit par le développement des rhizomes des roseaux. Börner *et al.* (1998 in Molle 2003) estiment que les rhizomes occupent au moins 33% de la porosité des 30 premiers centimètres du sol.

Au cours du vieillissement d'un filtre, les vitesses d'infiltration vont évoluer en fonction de plusieurs paramètres : avec la qualité du biofilm (Knowles *et al.* 2011), avec l'épaisseur et la qualité de la couche de dépôts (modification de coefficient de perméabilité), avec la hauteur des végétaux (Molle *et al.*, 2006b), suite aux opérations d'entretien des filtres, etc. Il s'agit donc d'entreprendre des actions appropriées pour que le colmatage du filtre reste toujours en-dessous d'un certain seuil, et qu'il ne devienne pas irréversible. Parmi ces actions on peut citer (AELB 2008a):

I. Etat de l'art : étude bibliographique

- Modifier les rythmes d'alternance entre les lits, aussi bien pour le 1^{er} étage que pour le 2^{ème}. Stefanakis et Tsihrintzis (2012a) montrent que le régime d'alimentation de lits est le paramètre dominant dans les performances d'un filtre, limitant l'influence de la température par exemple.
- Modifier les volumes de bâches
- Curer la couche de dépôts
- Curer la couche de granulats superficielle en cas de colmatage plus important
- Mettre le lit au repos pendant plusieurs semaines

La problématique du colmatage illustre combien le fonctionnement hydraulique et la capacité à traiter la pollution sont liés au sein d'un filtre. Ce n'est pas tant l'aspect hydraulique du colmatage qui pose problème plutôt que ses conséquences sur le traitement des polluants (Knowles *et al.* 2011). On constate pourtant qu'il n'existe pas de règles simples pour expliquer les origines et les conséquences du colmatage, cela est dû à la spécificité de chaque station (Knowles *et al.* 2011). Le colmatage dépend en effet à la fois des quantités et caractéristiques de l'effluent, du dimensionnement de la station, des granulats utilisés pour le remplissage des filtres et des opérations d'entretien.

La question de disposer d'un outil, ou d'une méthodologie capable de diagnostiquer l'état de fonctionnement d'un massif a été étudié dans le cadre des dispositifs d'infiltration installés en aval de fosses toutes eaux, tels qu'on les rencontre dans le cadre de l'assainissement collectif (Chabaud 2007). Une méthode se basant sur le calcul du degré de vides du massif filtrant (calculé à l'aide de la quantité de matières solides volatiles⁷ mesurée en différents horizons du filtre) a été proposé pour prédire l'évolution du colmatage et donc la durée de vie du système. Le modèle développé reste cependant simple, et n'intègre pas toutes les composantes du fonctionnement hydraulique (volume et espacement des bâchées, influence de la charge).

Les équipements de la station (notamment le dégrilleur, l'ouvrage d'alimentation des lits et les systèmes de répartition entre les différents lits) sont également responsables de bon nombre de dysfonctionnements (AELB 2008a, SATESE 56 2008).

Plusieurs études, réalisées par des SATESE (Service d'Aide Technique à l'Exploitation des Stations d'Épuration), des collectivités territoriales ou les agences de l'eau, témoignent des efforts qui sont faits pour améliorer les connaissances sur le vieillissement des filtres plantés de roseaux (Tableau 5).

⁷ Matières solides volatiles, ou MSV représente la fraction organique ou volatile des MES. C'est la partie qui est détruite par calcination à 550° C dans un four.

Tableau 5. Liste (non exhaustive) des études de suivi de FPRv.

Auteur l'étude	Date de l'étude	Nombre de STEU (FPR à écoulement vertical)	STEU la plus ancienne comprise dans l'étude	STEU la plus récente comprise dans l'étude	Référence bibliographique
SATESE Morbihan (départ. 56)	2008	10	Juin 2004	Mars 2008	SATESE 56
Département de Charente (départ. 16) Service d'Aide à la gestion de l'Assainissement	2003	13	1987	2003	CG 16 (2005)
Mission départementale d'Assistance à la Gestion de l'Eau 42 (départ. 42)	2007	17	1999	2004	MAGE 42 (2007b)
Agence de l'Eau Rhin-Meuse	2007	15	1996	2005	AERM (2007)
Perez F. (pour l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse)	2010	23 (dont 7 RhizoSTEP®)	1993	2009	Perez (2010)
SATESE de l'ARPE (Agence Régionale Pour l'Environnement, Région PACA)	2006	52	NC	NC	ARPE (2006)
Agence de l'Eau Loire Bretagne - AR SATESE	2008	18 études de cas, dont 9 FPRv	2001	2006	AELB (2008a)
CEMAGREF	2008	2 (RhizoSTEP®)	2002	2005	Molle (2008)

Ces différentes études ont toutes pour point de départ l'analyse d'un parc de stations existant (à l'échelle d'un département, d'une région ou d'un grand bassin versant) afin d'en tirer des consignes d'exploitation et de suivre le vieillissement de la filière. Beaucoup constituent la base de nouvelles préconisations pour la conception des filtres plantés de roseaux (MAGE 42 2007c ; AERB 2008 ; SATESE 56 2008). Elles aboutissent à la rédaction d'un clausier pour les filtres plantés de roseaux. Plusieurs d'entre elles soulignent la nécessité de passer à un niveau d'intégration national concernant les connaissances développées autour des procédés d'épuration extensifs et mixtes⁸. Cela signifierait mettre en place un dispositif d'échanges entre les différents SATESE et Agence de l'Eau à l'échelle de tout le territoire français.

⁸ L'appellation « procédés mixtes » caractérise une succession d'étape de traitements comportant au moins un filtre à sable, ou un traitement utilisant des végétaux (AELB, 2008a).

1.5. *Verrous actuels et perspectives de la filière*

Lorsque l'on s'intéresse aux limites des filtres plantés de roseaux, il est toujours utile de rappeler qu'on a affaire à une filière dite « rustique ». Ainsi, l'absence de connaissance fine de certains mécanismes (Molle *et al.* 2004, Wanko 2005) ou la difficulté à obtenir des outils de modélisation à usage large va de pair avec une filière relativement simple à exploiter et souvent, plus économique à construire que d'autres (AERM 2007).

1.5.1. *Les verrous techniques*

Le traitement du phosphore par les filtres plantés de roseaux, à écoulement horizontal ou vertical, est un point sur lequel la communauté scientifique n'est pas encore parvenue à proposer de solution à la fois fiable et économiquement viable pour les petites collectivités. Bien que plusieurs solutions aient été proposées, comme par exemple l'adsorption du phosphore sur de l'apatite disposée dans le filtre (Molle 2003, Prost-Boucle et Molle 2008), elles présentent toutes des aspects prohibitifs (coûts, bilan environnemental, ressources limitées). Les procédés de traitement intensifs (exemple : station de traitement des eaux usées par boues activées) réalisent la précipitation du phosphore par 2 voies (Molle 2003) :

- voie biologique (assimilation du phosphore par les micro-organismes). Cette solution n'est cependant pas applicable aux procédés de traitement par cultures fixées (Cooper 2009)
- voie physico-chimique (injection de sels métalliques). Certains maîtres d'œuvre/constructeurs mettent en place une déphosphatation physico-chimique en amont du 1^{er} étage, en se servant par exemple du poste de refoulement pour injecter un floculant (injection de chlorure ferrique). Les boues physico-chimiques qui en résultent se déposent sur le 1^{er} étage. Des phénomènes de relargage au sein du filtre ont cependant été constatés rendant impossible le respect des normes de 2 mg/l (AELB 2008a). Dans les cas où le traitement du phosphore est demandé, il faut donc prévoir le passage par un décanteur spécifique pour piéger les boues chargées en phosphore. Pour réduire la quantité de floculant à injecter (le floculant réagit également avec la matière organique) et pour s'assurer d'une étape de filtration en aval du décanteur, il est judicieux de positionner ce traitement physico-chimique du phosphore entre le 1^{er} étage et le 2^{ème} (AELB 2008a).

La quantification précise des flux d'oxygène, avec à la clé une optimisation du dimensionnement des lits, est actuellement encore une des limites de la filière. Elle est source de nombreux travaux de recherche (Wanko 2005, Petitjean 2011).

Un mauvais dimensionnement dû à des lacunes dans les connaissances des concepteurs (AERM 2006, Cooper 2009) se rencontre malheureusement encore de temps en temps.

1.5.2. *La modélisation*

La modélisation du fonctionnement des filtres plantés de roseaux est une discipline en pleine essor depuis le début des années 2000 (Langergraber 2008, Langergraber *et al.* 2009). Les FPRv, en particulier, restent complexes à modéliser parce qu'ils cumulent régime transitoire (non-permanent) et conditions insaturées (Gibaldi *et al.* 2009, Langergraber 2008). Pourquoi une modélisation si tardive ? Peut être parce que les méthodes empiriques ou les ratios exprimés en EH/m² ont été suffisants pour produire un traitement de qualité (Cooper 2009). Cooper met en garde contre cette approche qui, si elle permet d'affirmer que les filtres ne sont pas sous-dimensionnés, n'indique en rien cependant si le lit est bien dimensionné ou s'il n'est pas surdimensionné.

A l'heure où les domaines d'applications des filtres plantés de roseaux ne cessent de s'élargir (traitement des pesticides, d'effluents industriels, lixiviats, ...) la modélisation devient un outil précieux pour adapter les règles de dimensionnement au traitement de nouveaux polluants. De même, la modélisation permet de mieux comprendre l'influence intrinsèque de chaque paramètre, comme par exemple l'influence de la croissance de la biomasse (Langergraber 2008), sur les performances d'un FPRV. Pour une synthèse des modèles concernant les FPRv on pourra se référer à Langergraber (2008) et Langergraber *et al.* (2009).

1.5.3. Nouveaux modes de fonctionnement pour les filtres plantés de roseaux à écoulement vertical

Un moyen de faire face à des exigences de rejets stricts est de sophistication la filière des filtres plantés, quelquefois au détriment de son caractère rustique. Plusieurs configurations, brevetées ou non, ont été testées puis installées ces dernières années :

1. Un seul étage avec système de recirculation (Prost-Boucle S. *et al.*, 2010). Cette nouvelle filière part du constat qu'en sortie d'un 1^{er} étage à écoulement vertical, la qualité des eaux est très proche des préconisations de l'arrêté du 22 juin 2007.
2. Superposition de 2 étages de filtres plantés de roseaux à écoulement vertical : procédés Bi-filtre^{®9} par Epur Natur. Ce système est constitué de 2 étages superposés, pour une épaisseur totalisant de 1,50 à 1,60 m de granulats. Un réseau de drain à la mi-épaisseur du filtre procure une aération intermédiaire. Si ce système permet de réduire l'emprise au sol par rapport à une configuration à 2 étages distincts, il n'offre pas en revanche un niveau de performances aussi élevé que cette dernière. Molle et Prost-Boucle (2011) observent qu'il n'est pas possible de garantir le seuil de 90 mg/l de DCO ni d'aller en-dessous de 20mg/l en NTK.
3. Procédé RhizoSTEP[®] de SAUR (CEMAGREF 2008). Ce procédé procure une économie des coûts par une diminution des surfaces en jeu. C'est également, à notre connaissance, le seul qui s'intéresse à la question du traitement du pH de l'effluent. Ce système semble cependant moins fiable (AELB 2008a) qu'une filière au FPRv « classique ».
4. Procédé Ecophyltre[®] de Jean Voisin¹⁰. De même que le procédé Bi-filtre[®] de Epur Nature, cette filière reprend le principe de la superposition de deux étage en un seul. En guise de matériaux filtrants, le constructeur met en place un résidu de haut fourneau : du schiste expansé à 1130° (dénommé Mayennite[®]). D'après les informations du constructeur, ce procédé permettrait d'atteindre largement le niveau de performances imposées par l'arrêté du 22 juin 2007. Cependant, le Service Public d'Assainissement Non Collectif du Finistère (SPANC 29¹¹) met en garde contre cette filière, qui fonctionne correctement tant qu'elle reste en sous charge (40-50 %). Elle présente en outre des rendements en nitrification inférieurs à la filière classique, ce qui est cohérent puisque les eaux ne feront qu'un passage par l'atmosphère, contre deux pour cette dernière. Stefanakis et Tsihrintzis (2012b), qui ont testé l'influence de la composition et de la porosité de plusieurs roches (zéolite, bauxite et carbonates) sur les performances de FPRv, remarquent que pour qu'une amélioration significative soit apportée par la zéolite et/ou la bauxite, le temps de contact entre l'effluent et le support filtrant doit atteindre 1 jour.

1.5.4. Travail sur les communautés végétales

Bien que de nombreux végétaux soient recensés dans les FPR à l'échelle du globe (Vymazal 2011b), on constate que dans nos régions, et de manière générale dans la plupart des régions tempérées, ce sont pratiquement toujours les mêmes végétaux qui sont conseillés (voir p. 19). Simmons *et al.* (2007) suggère ainsi de travailler davantage avec les espèces locales, et de ne pas se limiter à une simple prescription de quelques espèces de plantes mondialement utilisées (ex. *Phragmites australis*) mais d'exploiter les caractéristiques et avantages des écosystèmes locaux pour augmenter leur diversité et prévenir tout dommage collatéral dû a des plantes non résistantes ou invasives par exemple. De plus, comme le montre Vymazal (2011b) chaque espèce possède un pouvoir épuratoire spécifique ou, autrement dit, des capacités phytoépurations qui lui sont propres et qui peuvent être source, pour qui les connaît, d'un meilleur traitement de l'eau.

⁹ Source : <http://www.epurnature.fr/fr/nos-solutions-techniques/bi-filtre- plante> (consulté le 5 juin 2012).

¹⁰ Source : <http://www.jean-voisin.fr/produits/ecophyltre.html> (consulté le 5 juin 2012).

¹¹ Source : <http://www.spanc29.net/forum/index.php?topic=2147.0> (consulté le 16 juillet 2012)

1.5.5. Traitement des autres pollutions

En dehors du cadre du traitement des eaux usées d'origine domestique, il est aussi intéressant de remarquer que d'autres usages sont et seront faits des filtres plantés de roseaux. De nombreux travaux de recherche (Vymazal 2011a, Cooper 2009) montrent que les FPR ont le pouvoir de traiter des eaux polluées d'origines très variées: eaux pluviales, industrie, industrie agro-alimentaire, lixiviats de décharges, mines, résidus de produits phytosanitaires, produits pharmaceutiques, ... Quant à la problématique des micropolluants et polluants émergents, plusieurs études (Hijosa-Valsero 2011, Haarstad *et al.* 2012) mentionnent la capacité des FPR abattre la pollution.

Les FPR apparaissent donc comme des systèmes aptes à traiter des composés chimiques complexes et difficilement biodégradables (ex. résidus de produits phytosanitaires) et par ailleurs très différents (composés organique, métaux lourds, Arsenic, ...).

II. Méthodes d'analyse des données

2.1. Collecte de données

Trois collectes de données ont nourri ce travail. La première rassemble des données provenant de l'INSEE, du portail assainissement du ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie (MEDDE) et de l'observatoire national des services de l'eau et de l'assainissement. Elles ont servi à dresser un état des lieux de la population couverte par l'assainissement collectif dans un périmètre d'environ 200 km autour de Colmar (Siège d'Olry Arkedia).

La seconde collecte fait la synthèse entre des données provenant du Système d'Information sur l'Eau Rhin-Meuse (S.I.E.R.M.) et du SATESE du Haut-Rhin dans l'optique d'étudier l'évolution des performances en fonction de l'âge de la station.

Enfin, la troisième collecte a été opérée lors de la visite des stations (Tableau 6), en compagnie de l'exploitant. Un questionnaire avait été préparé au préalable, dont le but était de caractériser l'état de la station, de recenser les éventuels dysfonctionnements de la station ainsi que les points à améliorer sur les prochains chantiers.

Tableau 6. Stations visitées pour la réalisation de cette étude. V = filtre à écoulement vertical, H = filtre à écoulement horizontal, ZTB= Zone tampon boisée ou végétalisée. Toutes les stations sont placées en aval d'un réseau unitaire, ou mixte majoritairement unitaire.

Commune	Départ.	Année de réalisation	Nombre d'équivalents habitants (Eq.H.)	Filière	Bilans 24h disponibles
Manspach	68	1994	600	V+H+Lagune	Oui (à partir de l'an 2000)
Eglingen Niederfeld	68	1995	135	V+H+H+Lagune	Oui (à partir de l'an 2000)
Eglingen Allmendgraben	68	1995	135	V+H	Oui (à partir de l'an 2000)
Petite Camargue Alsacienne	68	1995	70	H	Non
Altenach, Maison de la nature	68	1995	50	V+H	Non
Erckartswiller	67	1998	500	V+V	Oui
Magstatt le haut	68	2003	300	V+V	Oui
Allenwiller	67	2004	1 100	V+V	Oui
Knoeringue	68	2004	400	V+V+Lagune	Oui
Feldbach	68	2006	520	V+V	Oui
Liebsdorf	68	2008	350	V+V+ZTB	Oui
Lutter - Raedersdorf	68	2009	970	V+V+ZTB	Oui
Riespach	68	2009	900	V+V+ZTB	Oui
Wahlbach - Zaessingue	68	2009	800	V+V +ZTB	Oui
Falkwiller	68	2009	1 450	V+V+ZTB	Non
Levoncourt	68	2011	270	V+V+ ZTB	Non
Total stations avec bilans 24 disponibles :					12 stations

2.1. Le traitement des données

Pour l'étude des performances des stations, toutes les données ont été rassemblées dans une unique base de données. Toutes les manipulations de données ont été réalisées à l'aide d'un système de gestion de base de données (Access 2007), de manière à supprimer les redondances et pour démarrer le travail d'analyse sur une base facilement exploitable. Cette base de données nous a ensuite servi d'une part à observer si les STEU respectaient bien les exigences réglementaires de traitement qui leur étaient imposées et d'autre part, à étudier si une corrélation (linéaire) était visible entre l'âge d'une STEU et ses performances épuratoires. Tous les graphiques présentés dans la suite proviennent d'une extraction de données de cette base.

L'analyse des non-conformités, (lorsque les exigences réglementaires de traitement ne sont pas respectées) repose sur la comparaison des mesures des bilans 24h avec les niveaux de rejets réglementaires à atteindre. Ces derniers sont presque tous indiqués dans les CCTP (Cahier de clauses techniques particulières) respectifs de chaque STEU. Seuls les CCTP des 3 stations les plus anciennes n'ont pu être retrouvés. Les niveaux de l'arrêté du 22 juin 2007 ont donc été utilisés en remplacement. La prise en compte d'une réglementation antérieure et abrogée (arrêté du 21 juin 1996, circulaire du 17 février 1997), plus permissive, n'aurait pas permis d'avoir une discussion intéressante sur ces 3 stations. Chaque exigence de traitement (en termes de concentration ou de rendement) est associée à une plage de débit, telle qu'elle est indiquée dans les CCTP. Concernant les « conditions de charges et de débit » et les « conditions de composition moyennes de l'influent » au sens du CCTG fascicule 81 titre II, les prescriptions les plus fréquemment retrouvées dans les CCTP sont :

- Charges et débit inférieurs ou égaux aux valeurs nominales. Comme explicité ci-dessus, les débits nominaux ont été intégrés dans le filtre de sélection des données, par contre, aucun traitement de données par rapport aux charges entrantes dans la station n'a été mis en place, puisque nous sommes dans un contexte où la plupart des bilans 24h sont réalisés en condition de sous-charge.
- Les conditions de composition moyenne de l'effluent font référence à des limites maximales, qui, en présence d'eaux claires parasites (comme c'est le cas sur la plupart des stations étudiées), sont, sauf accident, toujours respectées.

L'outil créé sur Access détecte ensuite chaque mesure qui ne respecte pas les exigences de traitement, que ce soit en termes de concentration ou de rendement.

Une analyse factorielle des correspondances multiples (AFCM) a aussi été menée (à l'aide d'une version d'essai du logiciel XLSTAT), en compilant des données illustrant les performances des stations, couplées avec des observations de terrain pour voir s'il était possible de séparer l'ensemble des FPR de l'étude en sous-familles plus homogènes et plus facilement caractérisables.

2.2. Choix des paramètres

L'analyse des performances et la discussion qui s'en suivra portera uniquement sur les paramètres suivants :

- Traitement de la DCO, car représentatif de l'ensemble de la pollution organique ;
- Traitement de l'azote réduit (Azote Kjeldahl ou NTK), correspondant à la réaction de nitrification qui est conditionnée par la disponibilité de l'oxygène et qui n'intervient que suite à une bonne élimination de la pollution carbonée (Duchène *et al.* 2002), par conséquent témoin du niveau d'oxygénation/aération du filtre.
- traitement des MES, qui renvoie à la capacité de rétention par filtration des éléments fins ;
- traitement de l'azote oxydé (par l'intermédiaire du paramètre azote global : NGL, qui comprend les formes oxydées plus les formes réduites de l'azote). Ce paramètre ne sera discuté qu'en certaines occasions, car, en l'absence d'un lit à écoulement horizontal et/ou d'une recirculation de l'effluent, la réduction des formes oxydées de l'azote en azote gazeux (N₂ et NO₂) n'a lieu qu'en faibles proportions dans les FPRv.

Seront donc laissés de côté les paramètres suivants :

- DBO5, car, à une constante près (correspondant à la DCO réfractaire, c'est à dire non biodégradable) le raisonnement est pratiquement le même que celui tenu pour la DCO. Les 2 paramètres sont liés par la relation DCO/DBO des effluents épurés ≈ 2.2 à 2.4 (Sadowski, Duchène *et al.* 2002) ;
- le détail entre les différentes formes de l'azote oxydé ($\text{NO}_2 + \text{NO}_3$) puisque pour un système fonctionnant correctement, les nitrites sont négligeables devant les nitrates ;
- le phosphore, car c'est une pollution que les FPRv traitent pour l'instant de manière passive, c'est-à-dire sans que l'on ne dispose encore de leviers bons marché et efficaces (question en cours de recherche – développement) pour pouvoir influencer les rendements épuratoires.

III. Résultats et discussion

Retour d'expérience issu des filtres plantés de roseaux réalisés par Olry Arkedia

3.1. Les FPRv respectent-ils leurs autorisations de rejets ?

Les FPR sont un système faisant intervenir plusieurs processus physico-chimiques et biologiques. Ils sont conçus de manière à assumer des objectifs de qualité bien précis. A ce titre, la première question à se poser est de savoir si les stations respectent bien les niveaux de rejets pour lesquels elles ont été conçues. C'est d'ailleurs la question que se posent les SATESE/SATESA pour connaître l'état de leur parc de stations. Le SATESE du Bas-Rhin (SATESE 67, 2011), par exemple, suit cette démarche pour évaluer la qualité des niveaux de rejets des stations du Bas-Rhin, ainsi que leur évolution au cours des 10 dernières années. Il a, pour cela, réparti les STEU en 5 groupes, en fonction de la qualité et de la quantité des paramètres dépassés. Les seuils utilisés sont, par contre, les mêmes pour toutes les stations (seuils figurant à l'arrêté du 22 décembre 1994).

Il s'agit donc de vérifier que pour chaque bilan 24h, toutes les exigences de traitement sont respectées. Dès qu'un bilan 24h contient une mesure qui ne respecte pas les exigences de traitements, il est considéré « non-conforme ». En comptabilisant le nombre de bilan 24h non conformes par station on observe (voir Figure 7) que toutes les stations, à l'exception de celle d'Allenwiller, ont présenté des valeurs de rejets non-conformes. Ce constat est fait d'un point de vue purement réglementaire.

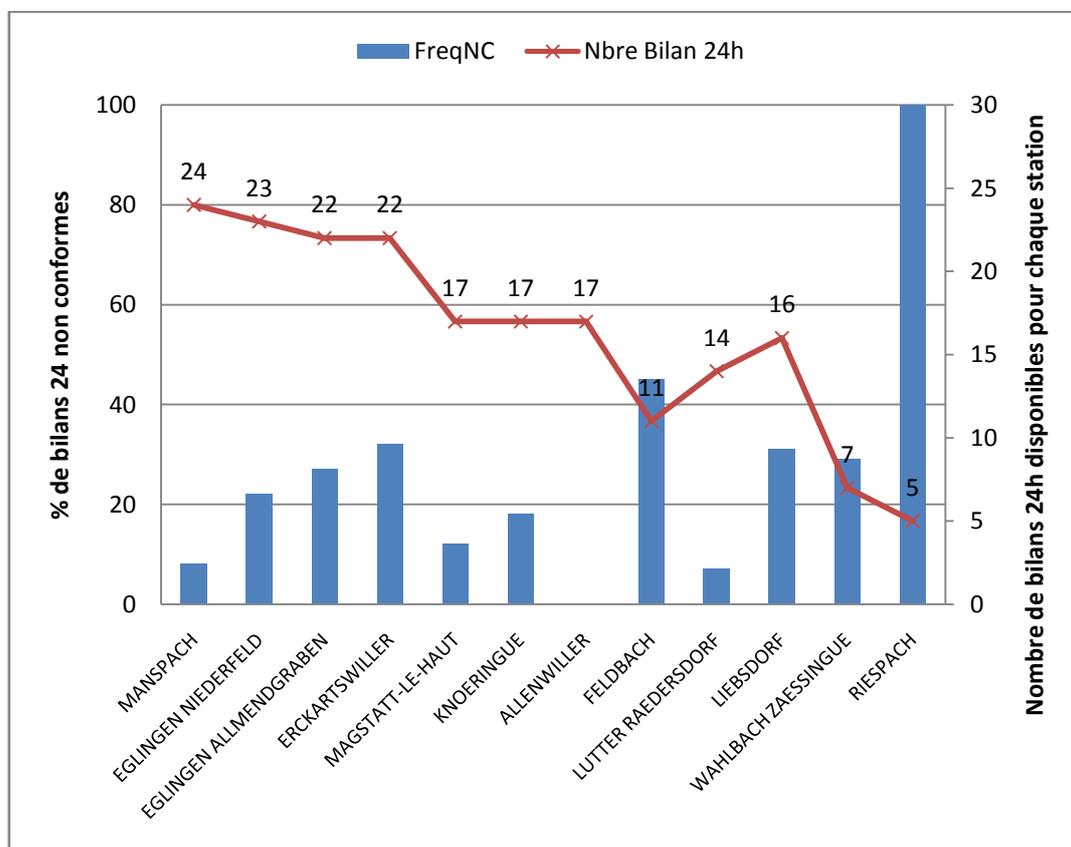


Figure 7. Pourcentages de rejets non conformes observés sur l'ensemble des bilans 24h disponibles (43 bilans 24h non conformes sur 195 bilans étudiés, soit un taux moyen de non-conformité de 23 %).

III. Résultats et discussion

Cependant, l'analyse des mesures des bilans 24h indique (voir Tableau 7 et Figure 8) qu'en réalité, plus de la moitié des non respects des exigences de traitement ne s'éloignent pas de plus de 10% des objectifs à atteindre. Une tolérance de 10 % (Tableau 7 et Figure 8) signifie que, si le rendement à atteindre est de 90 %, nous prendrons comme niveau de comparaison 90% -10%*90%, c'est-à-dire 81%. Quant aux concentrations, si la valeur maximum à atteindre est de 25 mg/l, nous utiliserons 25 + 10%*25, c'est-à-dire 27,5 mg/l.

Niveau d'exigence	Nombre de non-respect des concentrations maximum	Nombre de non-respect des rendements minimum	Dont nombre de non-respect des concentration ET rendement	Nombre total de paramètres dépassés	Nombre de bilan 24h non conformes
Exigences strictes du CCTP	14	50	5	59	43
Si tolérance de 5 %	12	29	4	37	28
Si tolérance de 10 %	8	19	3	24	19

Tableau 7. Détail des non-conformités : part due aux concentrations de sortie trop élevées et part due à des rendements insuffisants.

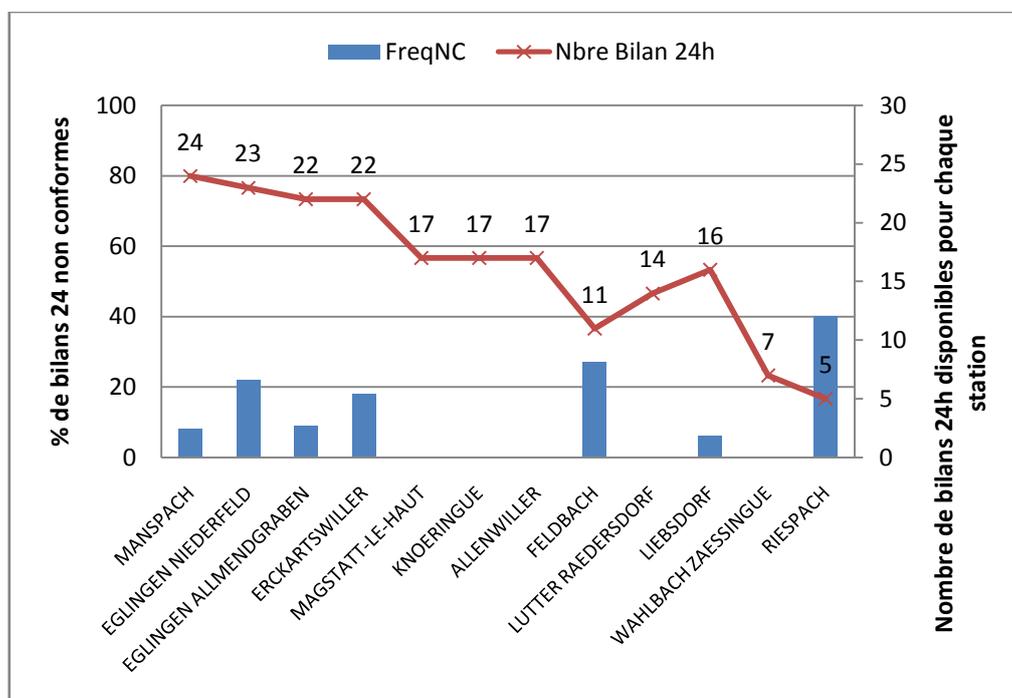


Figure 8. Mêmes résultats que Figure 7, mais avec une tolérance de 10% par rapport aux exigences (en rendement et concentration) (19 bilans 24h non conformes sur 195 bilans étudiés, soit un taux moyen de non-conformité de 10 %).

Ces observations amènent aux constats suivants :

- Les 3/4 des rejets non-conformes proviennent de rendements insuffisants. Cela avantage les STEU qui n'ont pas d'exigences en termes de rendement à respecter (cas d'Erckartswiller et Allenwiller) et qui verront leur taux de non-conformité réduit.
- Plus de la moitié des mesures de rendements provoquant un rejet non-conforme sont en réalité proches, voir très proches des seuils à atteindre (62 % des cas de non respect atteignent plus de 90% du rendement épuratoire exigé).
- 57 % des cas de non respect des exigences en concentrations se font en dehors de la zone de tolérance de 10 %. Les 2 principales causes de ces dépassements sont : 1) des niveaux sévères à tenir (50 mg/l de DCO à Erckartswiller) et 2) un non respect des rejets en N-NH4+.
- La seule corrélation observable entre âge et performance est le non respect plus fréquent des rendements pour les stations les plus jeunes (Riespach, Wahlbach-Zaessingue et Liebsdorf). Les rendements épuratoires

restent cependant proches des seuils à atteindre, (voir la diminution visible sur la Figure 8). Cela est dû à des concentrations en entrée de filtre très faibles (plusieurs mesures avec DCO < à 100 mg/l en entrée se station, voir Figure 9).

- Seules 9 bilans 24h sur 43 (tolérance de 0 %) présentes des charges de pollution dépassant les charges prévues à traiter par temps sec. On calcule une moyenne de 1.3 paramètres dépassés par bilan 24h non conforme.

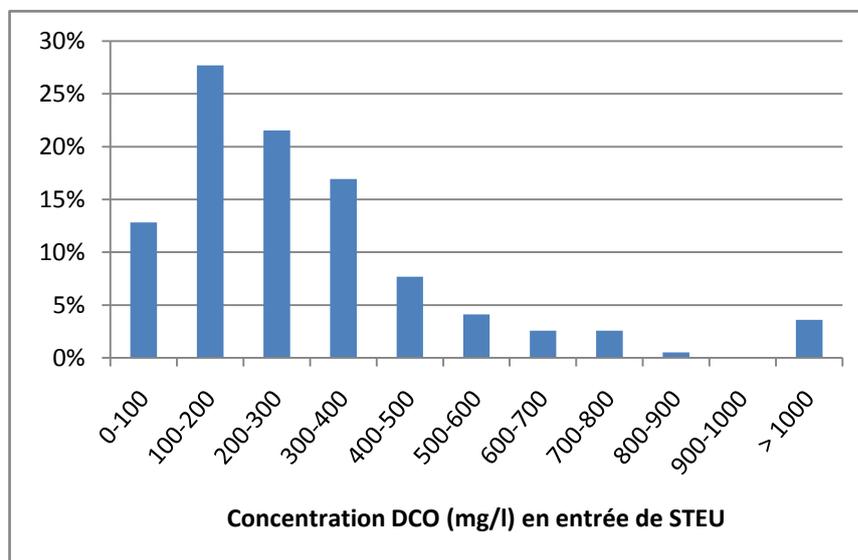


Figure 9. Histogramme des concentrations en DCO en entrée de STEU.

Ces faibles concentrations de DCO en entrée de station (la moyenne nationale se situe entre 400 et 1000 mg/l, Sadowski) montrent que, théoriquement, les stations munies de fosses toutes eaux en amont, bien que présentant des dysfonctionnements importants (Engligen Niederfeld, Eglingen Allmendgraben et Manspach), resteront en mesure d'assurer les objectifs de traitements. En effet, la fosse toutes eaux retient aux alentours de 30% de la pollution carbonée et jusqu'à 50 % des MES (AERM, 2007), et c'est sur ces deux formes de pollution que les performances de la station sont calculées.

Face à un non respect des objectifs de traitement, les communes ne sont cependant pas mises à l'amende. Dans un premier temps, elles recevront des conseils de la part du SATESE pour améliorer l'efficacité de la station à travers l'exploitation de la station (modifier les dates de faucardage, curer les boues par exemple). La police de l'eau et le SATESE du Haut-Rhin, par exemple, n'ayant pas d'objectif prioritaire à tenir pour les stations de moins de 2000 EH (loi ERU), comparent pour l'instant les niveaux de rejets avec les prescriptions de l'arrêté du 22 juin 2007, bien plus permissifs que ceux généralement définis dans les cahiers des charges lors de la construction de la station.

On comprend ainsi que cette comparaison des niveaux de rejets avec des niveaux de référence est davantage à prendre comme un outil pour évaluer une station ou un parc de stations, plutôt que comme un outil répressif.

3.2. Effet de l'âge sur les performances des filtres

3.2.1. Effet de l'âge sur les performances des filtres

Au vu des observations faites ci-dessus, on pourrait supposer que ce sont les filtres jeunes qui présentent un non-respect des niveaux de traitement le plus fréquent. Ce qui, en considérant les rendements épuratoires, serait cohérent puisque les filtres fonctionnent en sous charge pendant les premières années. La Figure 10, représentant le pourcentage de bilans non conformes en fonction de l'âge de la station semble très légèrement confirmer cette tendance. Les pics avec 40 à 60 % des bilans observés non conformes, qui viendraient infirmer cette tendance, résultent soit de stations avec DD, soit d'une station ayant des niveaux de rejet très stricts à respecter (Erckartswiller). Cette analyse est cependant à considérer avec précaution car les stations étudiées ici n'ont pas toutes le même âge (de 1 à 17 ans) et le nombre de bilans 24h disponibles pour chaque tranche d'âge n'est pas constant.

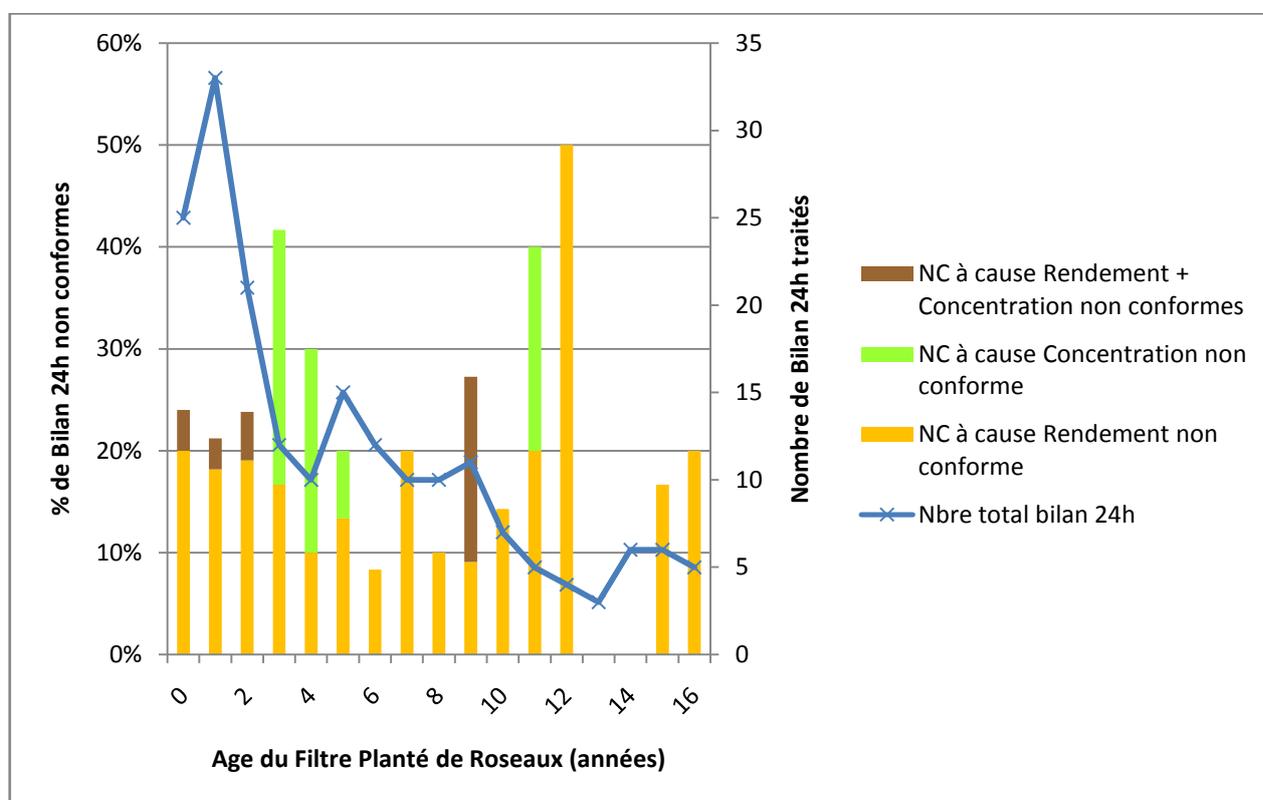


Figure 10. Lien entre âge des filtres et taux de non-conformités.

3.2.2. Premières années de fonctionnement des filtres

Pour aboutir à des résultats significatifs, les FPRv ont été divisés en 2 groupes :

- Groupe 1 : ceux construits en 1994-95 (3 stations comprenant un 1^{er} étage à écoulement vertical et un second étage à écoulement horizontal), caractérisés également par la présence d'un DD (décanteur-digesteur), un colmatage important, l'alimentation du 1^{er} étage par un réseau de rampes percées et un faible linéaire de drain d'aération
- Groupe 2 : réalisés à partir de 1998 (9 stations comprenant chacune 2 étage à écoulement vertical), qui, malgré des petites variations, sont *grosso modo* identiques aux règles de conceptions actuellement en vigueur.

La limite indiquée ici (année 1998) est donnée par le parc de station étudié. Il est fort probable que si l'on répétait le même type d'observation dans d'autres régions, elle ne serait pas exactement la même.

Les différences de performances moyennes entre ces 2 groupes sont en effet importantes (Tableau 8 et Tableau 9) : les 3 stations les plus anciennes sont moins performantes que celles construites à partir de 1998, et cela pour l'ensemble des paramètres mesurés. Les causes peuvent être multiples, elles seront discutées plus loin (p. 43). A ce stade, il est important de bien saisir la distinction entre performance (qui se réfère directement à l'abattement de la pollution) et la notion de non-respect des niveaux de traitement définis dans l'autorisation de rejets, dont il a été question dans la partie 3.1, qui appelle une réponse binaire (conforme/non conforme) et qui est pour l'instant surtout utilisée (pour les stations de moins de 2000 EH) lors des opérations de réception des travaux.

L'analyse des bilans 24h confirme un comportement des filtres fréquemment observé (Molle 2003 ; Molle *et al.* 2004, Stefanakis et Tsihrintzis 2012a), à savoir une légère amélioration des performances après les premières années de fonctionnement. On constate cependant une exception pour les concentrations en DCO et azote global (NGL) du rejet, qui sont sensiblement plus faibles pendant les 3 premières années de fonctionnement du filtre. L'augmentation en azote global (+ 47 % entre les 2 périodes étudiées) pourrait être expliquée en partie par l'augmentation des concentrations en azote (NTK) en entrée de station (Tableau 10).

Pour l'entreprise réalisant les travaux de construction de la station, ce dernier résultat est important. Car c'est sur la base des résultats fournis pendant les premiers mois de fonctionnement que l'ouvrage sera réceptionné.

Tableau 8. Moyenne des rendements épuratoires observés sur les stations. La moyenne est suivie de l'intervalle de confiance à 95% (le nombre de bilans est indiqué entre parenthèse).

	DCO	MES	NK	NGL	Pt	
STEU Olry <= 2 ans (construites >= 1998)	83±5 (79)	94±2 (77) ¹²	87±4 (77)	39±8 (57)	30±12 (79)	Bilans <= 2 ans (les 3 STEU les plus anciennes n'ont pas été pris en compte car absence de données)
écart type	22	9	16	30	54	
STEU Olry > 2 ans (construites >= 1998)	86±5 (47)	95±2 (47)	93±2 (47)	36±7 (36)	32±9 (47)	Bilans > 2 ans
écart type	16	5	9	22	33	
STEU Olry > 2 ans (construites en 1994-95)	72±5 (65)	83±3 (65)	58±6 (65)	29±13 (46)	29±10 (65)	Bilans > 2 ans 4 bilans supprimés car DCO entrée > 2000 mg/l ¹³
écart type	21	13	26	46	40	
CCTP Type (MAP, 2007)	88	93	80			Valeurs mesurées dans 95% des cas sur le territoire français, probablement des données communes avec les STEU Olry

¹² Deux mesures ont été retirées pour réaliser l'analyse statistique des MES : les rendements valaient respectivement 0 et - 292% (écart type de 46 % à la place de 12 % si l'on intègre ces valeurs). L'objectif ici est de dégager des informations sur le comportement général des filtres.

¹³ Les 4 bilans 24h retirés de l'analyse statistiques sont les 2 premiers bilans des stations de Eglingen Allmendgraben et Eglingen Niederfeld dont nous sommes en possession. Ils présentent des concentrations en DCO entre 2 et 8 g/l. S'ils étaient intégrés à l'étude, l'écart type pour la concentration du rejet en DCO, MES et NTK serait respectivement de 255, 96 et 120 mg/l.

III. Résultats et discussion

Tableau 9. Moyenne des concentrations en mg/l observées sur les stations. La moyenne est suivie de l'intervalle de confiance à 95% (le nombre de bilans est indiqué entre parenthèse).

	DCO	MES	NK	NGL	Pt	
STEU Olry <= 2 ans (construites >= 1998)	26±3 (79)	7±3 (77)	3±1 (77)	19±2 (67)	2±0 (79)	Bilans <= 2 ans (les 3 STEU les plus anciennes n'ont pas été pris en compte car absence de données)
écart type	14	12	3	10	1	
STEU Olry > 2 ans (construites >= 1998)	40±7 (47)	7±2 (47)	3±1 (47)	36±9 (47)	4±0 (47)	Bilans > 2 ans
écart type	24	6	3	33	2	
STEU Olry > 2 ans (construites en 1994-95)	63±12 (65)	20±5 (65)	13±3 (65)	49±33 (57)	3±0 (65)	Bilans > 2 ans 4 bilans supprimés car DCO entrée > 2000 mg/l
écart type	48	21	12	128	2	
CCTP Type (MAP, 2007)	80	20	18			Valeurs mesurées dans 95% des cas sur le territoire français, probablement des données communes avec les STEU Olry

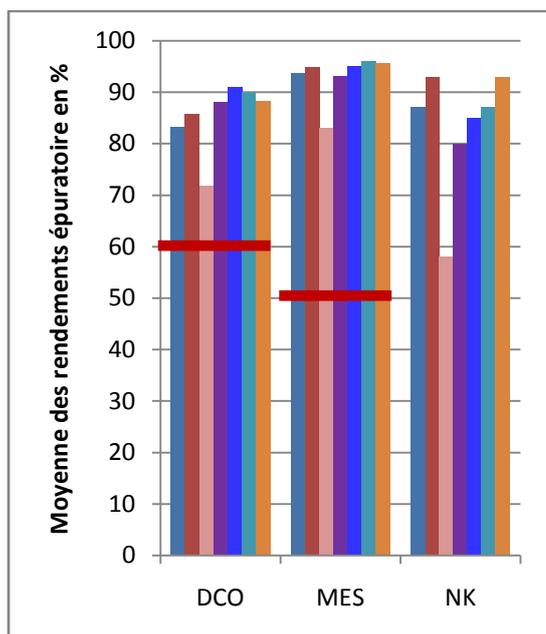


Figure 11. Rendements moyens observés sur les FPRv construits par Olry Arkedia et comparaison avec d'autres études. En rouge, les valeurs minimum à atteindre de l'arrêté du 22 juin 2007. La légende est la même que celle de la figure de droite.

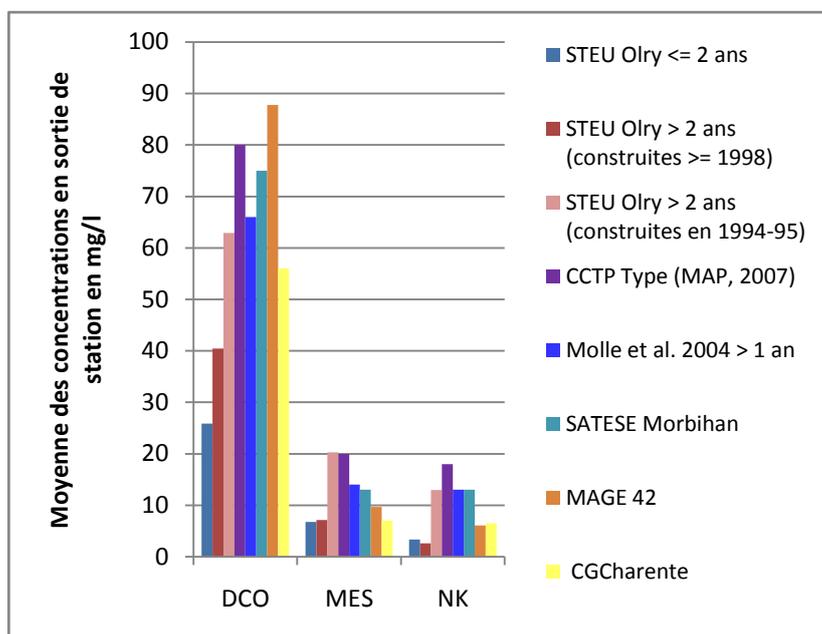


Figure 12. Concentrations moyennes observées en sortie de FPRv construits par Olry Arkedia et comparaison avec d'autres études.

L'origine des faibles niveaux des concentrations de rejet en DCO observés pendant les 3 premières années de fonctionnement pourrait s'expliquer par une plus grande dilution de l'effluent en entrée de STEU, du fait que les fosses toute eaux ne sont déconnectées que progressivement par les habitants, bien que celles-ci varient relativement peu (Tableau 10). Une autre hypothèse pourrait être un décrochage moins important de la biomasse

pendant les 3 premières années, période où prédomine la colonisation du filtre. Comme le remarque Molle (2003), lorsque le milieu poreux est saturé par le développement de la biomasse, un équilibre s'établit entre croissance et décrochage de cette dernière.

Tableau 10. Caractérisation de l'effluent en entrée de STEU et charge hydraulique reçue par le lit du 1er étage en fonctionnement sur les premières années de fonctionnement.

	DCO (mg/l)	MES (mg/l)	NTK (mg/l)	CHj m/jour
0 an	200	143	27	0,451
1 an	295	261	36	0,604
2 ans	456	396	40	0,472
Moyenne <= 2 ans	308	259	34	0,520
Moyenne > 2 ans (hors STEU construites en 1994-95)	351	167	46	0,430
Différence entre les 2 moyennes (positive = augmentation avec l'âge ; négative = diminution ave l'âge)	+12%	-55%	+26%	-21%

De manière générale, on constate que les stations construites par l'entreprise Olry ont des concentrations de rejets nettement inférieures aux moyennes nationales et à certaines autres études, et qu'elles présentent, par contre, des rendements épuratoires très légèrement moins élevés. Cela correspond bien aux systèmes d'assainissement du sud de l'Alsace, caractérisés par des réseaux pseudo-séparatifs (au moins la moitié du réseau est unitaire) avec une forte pénétration d'eau claires parasites (taux de dilution jusqu'à plusieurs centaines de %). Ces résultats sont également une preuve de la qualité des ouvrages réalisés.

3.2.3. Analyse de l'évolution des performances avec l'âge

3.2.3.1. Analyse de données : Analyse factorielle des correspondances multiples (AFCM)

« L'analyse factorielle des correspondances multiples (AFCM) [ou analyse des correspondances multiples (ACM)] est une technique de description de données qualitatives » (Saporta, 2006). Ce type d'analyse est utilisé lorsque le comportement d'un individu (en l'occurrence un FPRv) est décrit par plusieurs variables et que l'on recherche les corrélations linéaires entre individus et variables. Elle est utilisée ici pour mettre en évidence des différences de fonctionnement entre les FPRv étudiés.

L'AFCM nous a permis de mettre en évidence 4 groupes de stations, (Groupe A, B, C et D, qui n'ont rien à voir avec les Groupes 1 et 2 évoqués précédemment), qui se différencient les uns des autres par leurs rendements épuratoires et l'importance du phénomène de colmatage au sein du 1^{er} étage de traitement (Tableau 11 et Tableau 12).

Pour caractériser le vieillissement des filtres, nous cherchons à utiliser le maximum de variables : mesures provenant des bilans 24h et observations réalisées sur site. Le problème est que ces deux types de données sont anachroniques : les observations visuelles datent de 2012 tandis que les bilans 24h ont été réalisés entre 2000 et 2011. Pour que les données issues de l'observation coïncident au maximum avec les données provenant des bilans 24h, seuls ceux des années 2010 et 2011 ont été retenus, faute de pouvoir faire mieux. D'autre part, la quasi-totalité des visites ont été réalisées par temps pluvieux ou après des pluies relativement importantes ce qui a probablement favorisé l'observation d'un nombre important de lits en charge (le lit reste ennoyé entre 2 bâchées) alors que tous ne le sont peut-être pas par temps sec. En outre, les roseaux qui permettent d'augmenter la perméabilité de la couche de surface ne pouvaient pas encore remplir ce rôle, étant donné la jeunesse des pousses (car faucardage annuel, en général à l'automne des roseaux).

III. Résultats et discussion

Ainsi, les observations visuelles (qui serviront à caractériser le fonctionnement hydraulique des filtres dans l'AFCM) illustrent un fonctionnement en conditions limites, qui a l'avantage de mettre en évidence les fragilités des ouvrages.

L'âge des filtres a été traité dans l'analyse comme « donnée supplémentaire ». C'est-à-dire que cette variable n'est pas utilisée pour la détermination des différents groupes (Tableau 11 et Tableau 12), mais qu'elle est intégrée à la présentation des résultats (voir ANNEXE II). En interprétant les 2 premiers axes de l'AFCM (75,7 % de l'inertie cumulée) ont obtenu, pour chacun des axes, deux groupes de STEU dont le fonctionnement est opposé par les variables suivantes :

Tableau 11. Interprétation de l'axe 1 de l'AFCM (48,2 % d'inertie).

	GROUPE A	GROUPE B
Variables qui contribuent le plus	Mise en charge constante pdt période d'alimentation du lit (stagnation effluent entre 2 bâchées) Très bon rendement NTK (> 90) Bon à très bon rendement en MES (> 90%)	By-pass sans traitement par TP filtre (1 ^{er} et/ou 2 ^{ème} étage) Mauvais à moyen rendement en DCO (< 75%), NTK (< 60%) et MES (< 90 %)
Individus qui contribuent le plus	ALLENWILLER (7 ans) KNOERINGUE (7 ans) MAGSTATT-LE-HAUT (7 ans)	EGLINGEN ALLMENDGRABEN (17 ans)

Tableau 12. Interprétation de l'axe 2 de l'AFCM (27,5 % d'inertie).

	GROUPE C	GROUPE D
Variables qui contribuent le plus	Très peu de dépôts Présence de zones mortes en surface du filtre Bon % en NTK (>80%)	Forte épaisseur de la couche de dépôts (>= 8 cm) Mise en charge constante pendant période d'alimentation du lit (stagnation effluent entre 2 bâchées) Très Bon % en NTK (> 90%)
Individus qui contribuent le plus	FELDBACH (5 ans) LIEBSDORF (3 ans) LUTTER RAEDERSDORF (3 ans) RIESPACH (2 ans) WAHLBACH (2 ans)	ALLENWILLER (7 ans) EGLINGEN ALLMENDGRABEN (17 ans) KNOERINGUE (7 ans) MAGSTATT-LE-HAUT (7 ans)

L'axe 1, bien qu'il fournisse des évidences, montrent que les stations qui restent ennoyées entre 2 bâchées, celles du **Groupe A**, (et donc qui ont une hauteur de dépôts conséquente, 6 à 11 cm) respectent de très bon rendements en nitrification et en rétention des MES à l'inverse de la station de Eglingen Allmendraben (**Groupe B**) qui a déjà un certain âge. On retrouve ici un comportement déjà remarqué, où la matière organique sert de support pour l'adsorption des ions ammonium (NH₄⁺), qui seront oxydés entre 2 bâchées et pendant les phases de repos du filtre (Molle, 2003). Et l'augmentation de l'épaisseur de la couche de dépôts va de pair avec l'amélioration de la qualité du filtre qui retient les MES.

L'interprétation de l'axe 2, par contre, n'apporte pas d'indications vraiment nouvelles, puisque les corrélations constatées sont celles que l'on peut observer visuellement (hormis l'indication concernant le rendement en NTK).

Ces résultats confirment les tendances observées précédemment, surtout pour la réaction de nitrification. On observe en effet que les rendements en NTK sont meilleurs pour les stations qui ont aujourd'hui 7 ans, **Groupe C**, (5 et 6 ans lors des mesures) comparées à celles qui ont de 3 à 5 ans (0 à 3 ans au moment des mesures), **Groupe D**.

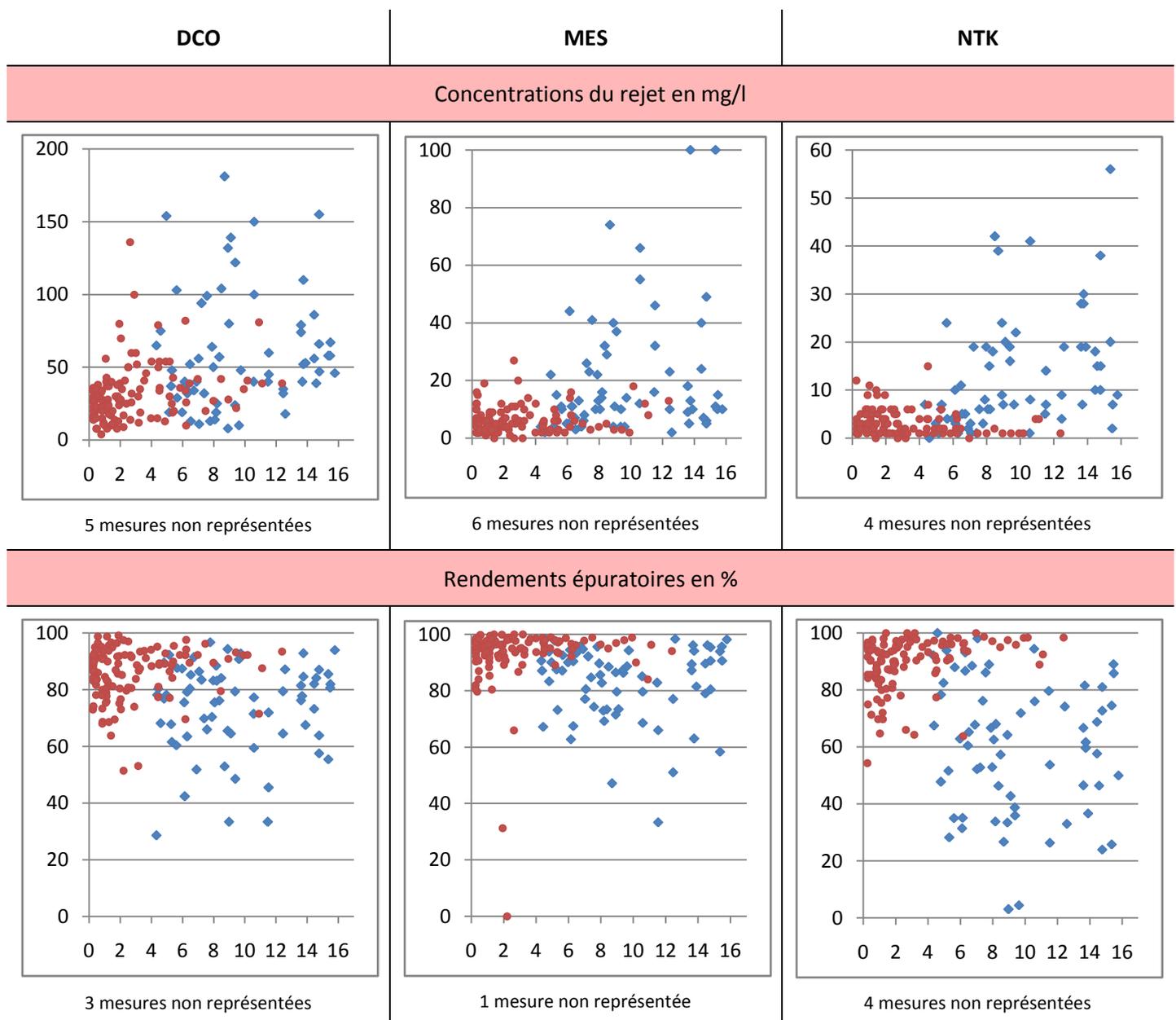
Il a été choisi de faire cette analyse sur la base des rendements épuratoires, et non des valeurs des concentrations de rejets pour s'affranchir au maximum des interférences dues aux variations de charges (hydraulique et organique).

3.2.3.2. Stations construites en 1994-1995

Les 3 stations construites en 1994-95 (Groupe 1), qui diffèrent des suivantes notamment par leur 2^{ème} étage qui est à écoulement horizontal et non pas vertical, présentent des performances moins bonnes que ces dernières (Figure 11 et Figure 12) et semblent réagir également plus sensiblement à aux effets de l'âge.

Tableau 13. Comparaison des performances des 2 groupes de STEU. L'axe horizontal indique l'âge de la station (en années), l'axe vertical indique la concentration ou le rendement. Quelques mesures extrêmes n'ont pas été représentées sur les graphiques.

Les losanges bleus sont des mesures provenant des STEU construites en 1994-95, les points rouges sont celles construites à partir de 1998.



Quel que soit le paramètre (DCO, MES ou NTK) les 3 stations avec décanteurs-digesteurs (Groupe 1) montrent des rendements inférieurs et des concentrations de rejets supérieures aux autres FPRv (Tableau 13), et cela dès les premières données disponibles (ce qui correspond à une ancienneté de 4-5 ans pour ces 3 stations). Les principales informations que nous livre ce dernier tableau sur les STEU munies DD sont :

- **Des concentrations du rejet en MES importantes** (comparées à celles du groupe 2) et **dépendantes de l'âge de la station**. Elles trouvent très probablement leur cause dans le colmatage du filtre, qui lui, semble surtout causé par un départ de la boue du décanteur-digesteur lors des épisodes de débit important.
- **Des niveaux de rendements épuratoires très irréguliers**. Les stations sont donc moins fiables dans l'efficacité du traitement de la pollution. Elles semblent être soumises à un fonctionnement par à-coups. Contrairement aux filtres du Groupe 2, elles n'ont pas la même capacité à lisser le flux de pollution rejetée à la rivière. Ces stations ne fonctionnant pas en surcharge organique (Figure 13), ces mauvais résultats ne peuvent s'expliquer par une charge de pollution trop importante à traiter. Les hypothèses qui restent pour les expliquer sont, par ordre de pertinence : 1) un colmatage du filtre qui semble surtout causé par un départ de la boue du décanteur-digesteur lors des épisodes de débit important, 2) une aération insuffisante des filtres verticaux provoqué par un colmatage, par l'absence d'un réseau de drain en fond de lit et par une charge hydraulique trop importante arrivant sur les lits (Figure 14) et, 3) un 2^{ème} étage avec écoulement horizontal, dont le rôle d'affiner le traitement de la pollution (et de dénitrifier) n'est pas aussi efficace qu'un 2^{ème} étage à écoulement vertical pour prendre le relais lorsque le 1^{er} étage dysfonctionne ;
- **Des faibles niveaux de rendements en nitrification**. La réaction de nitrification est une oxydation par voie biologique des ions ammonium NH_4^+ et de l'azote organique. Elle se déroule en condition aérobie. Par conséquent, une mauvaise nitrification est synonyme d'un apport en oxygène (présent dans l'air) insuffisant. Les causes pouvant conduire à cela sont les mêmes que celles déjà listées ci-dessus : colmatage, aération par les drains insuffisante et surcharge hydrauliques.

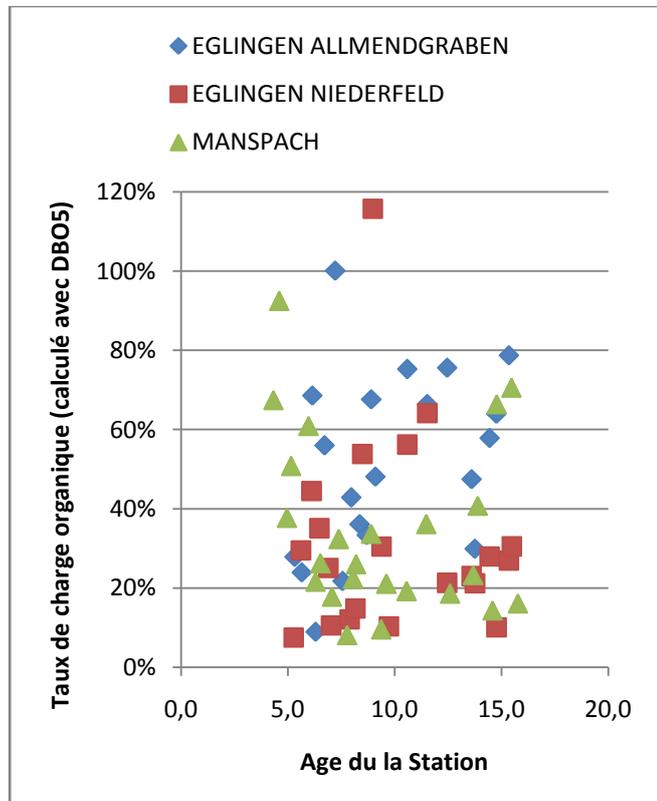


Figure 13. Taux de charges organiques pour les 3 STEU construites en 1994-95. Source: SATESE 68.

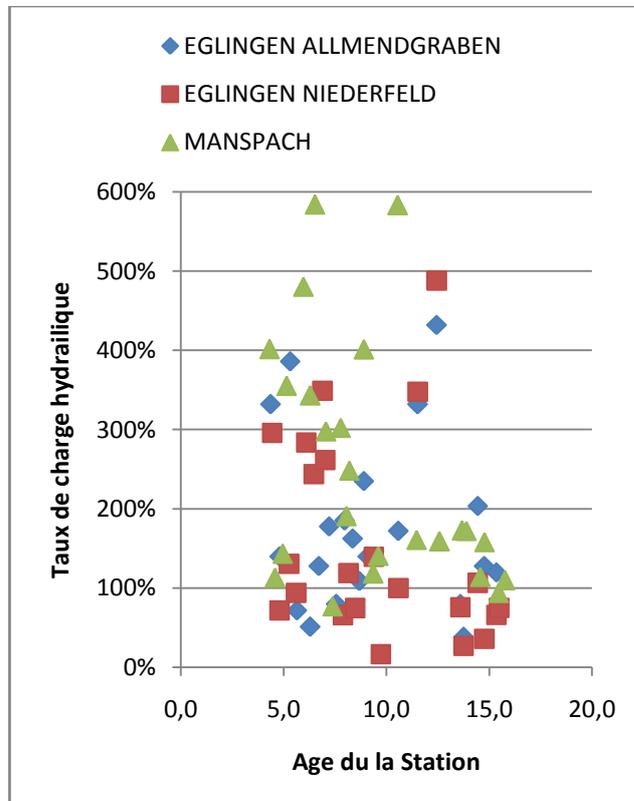


Figure 14. Taux de charge hydraulique pour les 3 STEU les plus anciennes. Source: SATES 68.

Toutes les stations du Groupe 1 sont équipées de décanteurs-digesteur en amont de la filière de traitement. Ces derniers étaient inclus à la filière dans le but d'augmenter la durée de vie des filtres (Ayaz *et al.* 2012) face à la problématique du colmatage, par rétention d'une bonne partie des matières en suspension. Dans certaines régions (Ayaz *et al.* 2012) ou lorsque le premier filtre à recevoir les effluents est à écoulement horizontal, un décanteur-digesteur est encore installé. Dans nos régions, (France et plus particulièrement les départements concernés par notre étude) ces ouvrages ne sont maintenant plus préconisés en amont de la filière FPRv (MAP, 2007), car ils présentent un certain nombre d'inconvénients qui peuvent largement pénaliser le bon fonctionnement d'un FPRv. Le premier est le risque de départ de boues si les fosses ne sont pas curées assez régulièrement et lors d'épisodes à fort débit (ce qui est très fréquent, comme cela est montré par la Figure 14). Les boues accélèrent le colmatage du filtre et nuisent à la qualité des rejets. En colmatant un filtre on diminue les niveaux de traitement (un colmatage total provoque un écoulement de l'effluent par le top plein de surface) mais surtout on diminue la durée de vie de l'ouvrage. A ce sujet là, les SATESE du bassin versant Loire-Bretagne observaient (sur les filtres à sables mais cela s'applique toute aussi bien aux FPRv) qu'«*il apparaît fort probable que les effluents septiques en sortie de traitement anaérobie perturbe le fonctionnement aérobie des filtres à sables*» (AELB, 2008a). Molle (2003) décrit, (d'après Guilloteau, 1992) la formation en condition anaérobie de composés plus difficilement biodégradables (polysaccharides, dérivés d'acides uroniques et substances humiques), voire pas dégradables, dans la suite de la filière aérobie. Ces composés présentent donc pour le filtre un risque de colmatage biologique accru. Il remarquait cela dans les filtres, lorsque survenaient des conditions anaérobies suite à une surcharge hydraulique.

D'après les informations fournies par les exploitants, les fréquences de curage (une fois tous les 2 à 4 ans) sont peu éloignées des préconisations en vigueur (3 ans d'après le Document Technique FNDAE n° 22 et 1 an selon AERM, 2007). Nous n'avons par contre pas d'éléments sur la fréquence des contrôles des niveaux de boues et du préfiltre.

3.2.3.3. Éléments pour caractériser la durée de vie des ouvrages

Si les FPRh bénéficient déjà d'un certain nombre d'études (Knowles *et al.* 2011, Vera *et al.* 2011, Vymazal 2011c) qui donnent des estimations sur leur durée de vie (de 8 à 15 ans voir 25-30 ans pour la station de Pannesières dans le Jura¹⁴), il n'en est pas de même pour les FPRv. De plus, suivant le point de vue que l'on adopte (réglementaire ou traitement de la pollution) les conclusions auxquelles on aboutit ne sont pas les mêmes.

Avec une approche strictement réglementaire (voir 3.1 Les FPRv respectent-ils leurs autorisations de rejets ? p. 37), on constate que les stations les plus anciennes (17 ans de fonctionnement), bien qu'elles soient très fortement colmatées, remplissent encore les conditions de rejet imposées par l'arrêté du 22 juin 2007, en sachant que celles-ci dépendent grandement de la météo des quelques jours précédant la campagne de mesures. Leurs performances diminuent néanmoins avec l'âge (Tableau 13). On observe des bilans 24h non conformes, mais ceux-ci restent dans des proportions comparables aux autres STEU de l'étude (Figure 7).

Par contre, lorsque l'on s'intéresse à l'aspect fonctionnel de la filière et donc au traitement réel apporté, force est de constater que les filtres les plus anciens sont en mauvais, voir très mauvais état et cela depuis quelques années (2-3 ans minimum), aux dires de l'exploitant. Ainsi, la « durée de vie fonctionnelle » observée ici serait au maximum d'une quinzaine d'année.

Les filtres plus récents par contre, (dont le plus ancien a 13 ans) au vu de leur état et comportement hydraulique actuel, laissent présager une durée de vie fonctionnelle plus importante. Une durée de vie de l'ordre d'au moins 25-30 ans, tel que cela est observé avec les lits de la station de Gensac la Pallue¹⁵, en Charente, (construite en 1987 et toujours en fonctionnement) semble tout à fait cohérente.

Une « durée de vie fonctionnelle » plus courte qu'une durée de vie du point de vue du strict respect de la réglementation montre que les STEU, dont les objectifs de traitement sont relativement peu élevés (niveau d'exigence de l'arrêté du 22 juin 2007, niveau D4 de la circulaire du 17 février 1997), peuvent présenter des rejets conformes aux exigences réglementaires, tout en ne remplissant plus que partiellement leur rôle d'ouvrage de

¹⁴ Source : <http://www.siaal.fr/fichiers/rapport-annuel-2011-ind1-vise-par-prefecture-1341557612.pdf> (consulté le 17.07.2012).

¹⁵ Source : <http://www.gensac-la-pallue.fr/viemunicipale-projets.htm> (consulté le 1.06.2012).

traitement des eaux usées. On en déduit également que la façon dont un filtre évolue avec l'âge influence d'abord la durée (fonctionnelle) de vie de l'ouvrage et seulement après la qualité des rejets (conformes/non-conformes). Par ailleurs, cela indique que, même si visuellement et olfactivement un filtre semble ne plus fonctionner, il pourra peut-être encore réussir à réaliser un traitement minimum.

Il est nécessaire de souligner que ce traitement minimum ne peut être uniquement réalisé par la fosse toutes eaux, capable de réaliser env. 30 % d'abattement en pollution carbonée (AERM, 2007), ce qui n'est que la moitié de ce qui est demandé par l'arrêté du 22 juin 2007 (60% d'abattement en DBO5 et DCO).

Pour les filtres qui sont munis d'exigences de traitement beaucoup plus strictes (cas général), ces 2 facettes de la notion de durée de vie ont tendance à s'effacer au profit d'une unique durée pour laquelle le moindre écart dans l'efficacité du traitement risque d'aboutir à une non-conformité.

Ces résultats nous suggèrent également qu'il serait opportun d'augmenter la fréquence des visites de contrôle pour les ouvrages les plus anciens.

3.3. Eléments de diagnostic des dysfonctionnements

L'entretien (qui fait référence à des opérations de faucardage ou de nettoyage des ouvrages par exemple) et l'exploitation (intervention plus technique et de fréquence moindre que l'entretien) d'un FPRv sont des leviers considérables pour augmenter sa durée de vie. Pour les utiliser, il faut régulièrement réaliser des diagnostics de fonctionnement/dysfonctionnement de la filière. C'est pourquoi il est proposé ici une liste (non exhaustive) des désordres observés, avec leurs caractérisations, de manière à identifier leurs origines et leurs conséquences. Cette partie est à lire comme un complément aux études recensées dans le Tableau 5 (p. 29).

Dans cette liste, on s'intéresse avant tout aux défauts qui ne sont pas encore systématiquement corrigés (dans les documents d'aides au dimensionnement ou dans les projets actuellement lancés dans notre région). D'autres défauts, comme par exemple l'alimentation d'un premier étage à l'aide de canalisations percées, ne seront pas évoqués ici car corrigés depuis la fin des années 90. Des observations évidentes, telle que la déformation d'un tuyau PVC suite à un désherbage au chalumeau ne seront pas non plus reportées ici. En résumé, les différents défauts et dysfonctionnements détaillés ici le sont pour des raisons de :

- Fréquence importante,
- Défaut peu ou pas mentionné dans la littérature et autres retours d'expérience dont nous avons eu connaissance,
- Des défauts fréquents mais dont on ne mesure pas bien les conséquences et/ou qui ne sont peut-être pas traités correctement (exemple : le colmatage).

3.3.1. Description et discussion des désordres rencontrés

Dans le tableau qui suit (Source : ANNEXE III), seules sont indiquées les conséquences hydrauliques des dysfonctionnements. Le lien entre hydraulique d'un filtre et traitement de la pollution est détaillé plus loin (Tableau 15) car il arrive que plusieurs dysfonctionnement observés conduisent au même comportement hydraulique. Les origines possibles sont indiquées, sans qu'il soit possible de les hiérarchiser et de quantifier leur importance.

Tableau 14. Liste de dysfonctionnements observés sur le parc de stations étudié.

	Description du désordre	Photos	Origines possibles	Conséquence hydraulique et aéraulique	Mesures correctives
Présence de zones mortes en surface	Présence de zones mortes sur le 1 ^{er} étage (même après 7 ans de fonctionnement)		<p>Filtre jeune (premières années de fonctionnement)</p> <p>Trop peu de points d'alimentation, non respect de l'indication d'un point/25m2 si réseau unitaire (AERM, 2008a).</p> <p>Effluent très dilué car ECP</p> <p>Surdimensionnement du filtre ?</p>	<p>Non utilisation de la totalité du filtre</p> <p>Augmentation de la vitesse d'infiltration</p>	<p>Attendre ou apporter un matériau (type compost) pour réduire la perméabilité de la couche de surface autour des bouches d'alimentation</p>
	Présence de zones mortes sur le 2 ^{ème} étage, mauvaise répartition de l'effluent sur le lit		<p>Une alimentation du lit de type « puits artésien » avec 1 point/37.5 m2</p>	<p>Non utilisation de la totalité du filtre</p> <p>Tassement du sable sous les zones fortement alimenté</p>	<p>Attendre</p>
Gestion des dépôts (colmatage faible, « normal »)	Forte hétérogénéité dans la planéité de la couche de sable (2 ^{ème} étage)		<p>Une alimentation du lit de type « puits artésien » avec 1 point/37.5 m2</p>	<p>Risque de créer des zones mortes</p> <p>Tassement du sable sous les zones fortement alimenté</p> <p>Rôle positif sur l'épuration : les points hauts, dénoyés plus tôt que les points bas, sont ceux à partir desquels le séchage et la minéralisation par les microorganismes sont amorcés et se propagent alentour</p>	
	Dépôts sur le 2 ^{ème} étage		<p>Réseaux unitaires</p> <p>Particules fines passant au travers du 1^{er} étage, provenant du réseau (unitaire)</p>	<p>Réduction de la perméabilité de la couche de sable</p> <p>Augmente le risque de colmatage, mise en charge du lit (observée)</p> <p>Réduction des transferts d'oxygène vers le filtre</p>	<p>Surveiller l'évolution des vitesses d'infiltration dans le lit</p> <p>Curage de la couche de dépôts</p> <p>Voir plus bas : « Surface du 2^{ème} étage en charge »</p>

III. Résultats et discussion

	Description du désordre	Photos	Origines possibles	Conséquence hydraulique et aéraulique	Mesures correctives
	Curage des boues annuel au râteau		<p>Décision de l'exploitant</p> <p>Pour réduire la mise en charge des lits</p>	<p>Epuisement des couches de granulats : au minimum 20 cm de granulats ont été évacués du filtres en 16 ans</p>	<p>Si le filtre en est au stade où il ne peut plus supporter une couche de boues : il faut au minimum remplacer la couche de filtration du filtre.</p>
	Cône de décantation trop important		<p>Alimentation aérienne dirigée vers le bas</p> <p>Difficile d'étaler le cône au râteau car retenu par les tiges des roseaux</p>	<p>Importantes inégalités dans l'épaisseur de la couche de boues : l'effluent reste stocké sur les parties basses</p> <p>Risque de freiner le débit d'alimentation du lit (Si poste de refoulement : modification du point de fonctionnement des pompes)</p> <p>Risque d'obstruction des orifices en extrémité de rampes</p>	<p>Egaliser les cônes : avec râteau, voir avec mini-pelle</p>

	Description du désordre	Photos	Origines possibles	Conséquence hydraulique et aéraulique	Mesures correctives
Surface des lits ennoyées (colmatage avancé)	Surface du 1 ^{er} étage en charge		<p>DD en amont avec relargage de boues lors d'épisodes pluvieux à fort débit</p> <p>Forte charge hydraulique (temps de pluie)</p> <p>Saison sans roseaux</p> <p>Couche de dépôts trop importantes</p> <p>Arrivée d'effluent gras (origine : bac dégraisseurs de restaurants)</p> <p>Granulats ?¹⁶</p>	<p>Stagnations de l'effluent en surface</p> <p>Pas de lame d'air entraînée dans le filtre à chaque bâchée (effet piston)</p> <p>Perte de l'effet « alimentation par bâchée »</p>	<p>Mettre le filtre au repos pendant au moins 3-4 semaines</p> <p>Faire une nouvelle étude des rythmes d'alternance à appliquer au filtre</p> <p>Curage de la couche de dépôts</p> <p><u>Indication pour déclencher un curage : si le filtre a besoin de plus de 24h pour perdre sa mise en charge (en absence d'arrivée d'effluent)¹⁷</u></p> <p><u>Si le problème persiste après un curage des boues : remplacer la couche de filtration du filtre</u></p> <p>Vérifier les bacs dégraisseurs des restaurants</p> <p>Cooper (2009) cite l'exemple du test d'une unité mobile de traitement, en Grande-Bretagne, pour nettoyer les granulats puis de les replacer dans les filtres.</p>

¹⁶ Les granulats ne semblent pas devoir être remis en cause, en effet dans la région Alsace (Haut-Rhin en particulier) ce sont pratiquement toujours les mêmes qui sont utilisés depuis une quinzaine d'années. Pour ce qui concerne le sable, des tests sont faits avant chaque mise en œuvre pour vérifier le fuseau granulométrique.

¹⁷ Des discussions menées avec un enseignant-chercheur (Mr Sadowski) et des bureaux d'études (Sinbio à Muttersholtz, 67 et Atelier Reeb à Strasbourg, 67), font apparaître que les avis divergent sur le critère à employer pour déclencher un curage. D'un point de vue théorique, il faudrait curer la couche de dépôts à partir du moment où le filtre reste ennoyé entre 2 bâchées. Il a en effet été vu plus haut qu'un certain nombre de réactions (plus particulièrement concernant l'azote) se déroulent pendant l'intervalle de temps séparant 2 bâchées. Cela signifierait, pour les stations recevant une charge importante, un curage tous les 4 à 7 ans, en fonction de l'ancienneté du filtre (en se basant sur nos observations). Un autre point de vue consiste à dire que le système doit rester rustique et adapté à ce que les petites collectivités peuvent se permettre (coûts d'exploitation raisonnables). Dans ce dernier cas, une opération de curage est préconisée lorsque la couche de dépôts a atteint 15-25 cm, soit environ tous les 10-15 ans. Entre ces deux positions, on pourra utiliser comme critère les résultats des analyses des bilans 24h (menés généralement 2 fois par an) pour surveiller l'évolution des performances d'une station et, éventuellement déclencher des opérations de plus grosse envergure. L'agence de l'eau Rhin-Meuse (AERM 2007 et 2008a) préconise un curage décennal.

III. Résultats et discussion

	Description du désordre	Photos	Origines possibles	Conséquence hydraulique et aéraulique	Mesures correctives
	Surface du 2 ^{ème} étage en charge		Idem ci-dessus (sauf remarque pour bacs dégraisseur) Réseau unitaire : colmatage de la couche de sable avec les fines non filtrées par le 1 ^{er} étage.	Idem ci-dessus	Idem ci-dessus (sauf remarque pour bacs dégraisseur)
	Colmatage avec court-circuit hydraulique en surface du lit (toutes les stations du Groupe 1 ont au moins un étage concerné par ce problème)	 	Idem ci-dessus Comportement du filtre vis-à-vis du colmatage avec effet de seuil : pendant plusieurs années rien puis colmatage brusque (Phase 2 du colmatage, voir p. 26) ?	Idem ci-dessus Court-circuit hydraulique par le trop plein si le niveau monte trop.	Idem ci-dessus Si colmatage trop profond : remplacer la totalité des granulats
Drains	Cheminée d'aération trop basse : risque de pénétration des effluents dans le réseau de drains		Tuyaux coupés trop courts/trop bas	Risque de court-circuit hydraulique en cas de mise en charge de la surface du lit Réduction de la circulation d'air entre la base du filtre et l'atmosphère : utilisation du réseau de drains pour transporter de l'effluent <u>brut</u>	Rehausser le trop plein (manchon PVC)
	Enfouissement des sorties de drain dans le talus Casse du chapeau de cheminée Casse de la partie aérienne du drain		Position de la remontée du drain trop proche du talus. Casse du PVC avec la débroussailleuse	Idem ci-dessus Pénétration de rongeurs dans le réseau de drains	Désherber et dégager les chapeaux du talus, entretien régulier du talus Travaux futurs : respecter une distance d'au moins 50 cm entre la génératrice du drain (coté extérieure du lit) et le talus Débroussailler le filtre de préférence avec un fil et non un disque) Réparer les casses

	Description du désordre	Photos	Origines possibles	Conséquence hydraulique et aéraulique	Mesures correctives
					
	Regard de vidange des rampes d'alimentation (robinet ouvert en période de gel, fermé sinon): formation d'une couche de dépôts		Dépôts (gras) présents dans les rampes d'alimentation	Risque d'imperméabilisation du fond des regards au fil des ans, risque d'empêcher la vidange des rampes en période hivernale	Percer 1x/mois en hiver cette couche de dépôts gras
Végétation (Roseaux et mauvaises herbe sur le filtres)	Présence de mauvaises herbes (surtout des orties lors des visites)		Absence de désherbage régulier Apport de produit chimique : mort des roseaux (1 cas avec arrivée accidentelle d'acide chlorhydrique)	Augmentation du risque de colmatage des couches superficielles (installation d'une terre végétale) Risques de dysfonctionnement du filtre plus élevés, risque de baisse des performances (voir p. 24).	Désherber le filtre Replanter les roseaux Ajuster l'entretien des filtres en se servant des enseignements de la phytosociologie (Lieu et Reeb 2010)
	Diminution de la densité des roseaux en direction du fond du filtre et jaunissement des roseaux également en direction du fond du filtre <u>(uniquement sur le 2^{ème} étage, à partir du moment où les roseaux se sont bien</u>	 	<u>Hypothèses¹⁸</u> : 1. Manque d'eau : - périodes de repos trop longues pour les roseaux (> 3.5 jours) - Sable trop grossier 2. Carence en éléments nutritifs (NPK) du à des faibles concentrations et un temps de contact trop court et/ou en oligo-éléments. Molle (2003) remarque que la vitesse d'infiltration sur le 2 ^{ème} étage est pratiquement 2 fois	Aucune (d'après les connaissances actuellement disponibles)	Phénomène/dysfonctionnement à observer de près pendant les prochaines années pour essayer de progresser dans sa compréhension.

¹⁸ Les hypothèses présentée ici sont issus d'échange avec des personnes chargée de l'entretien des stations visitées, le Bureau d'étude Sinbio (Mutterholtz, 67) et Mr Pascal Molle (IRSTEA).

	Description du désordre	Photos	Origines possibles	Conséquence hydraulique et aéraulique	Mesures correctives
	développés)		plus élevée que sur le 1 ^{er} étage, même si la granulométrie est plus fine		
Sécurité	Absence de grille antichute	 Erckatswiller			Installer grille anti-chute
	Absence de protection des équipements sous tension de l'armoire électrique				Remise aux normes de l'armoire
	Absence d'échelle pour descendre dans le regard				Installation d'une échelle
Problèmes liés au réseau, divers	Dépôts dans les ouvrages		Absence de curages Contre pentes	Stagnation de dépôt dans cuve : odeur, perte de volume utile	Evacuation des dépôts si quantités trop importantes Nettoyage des ouvrages à l'eau
	Lingettes dans le réseau : colmatage des dégrilleur, blocage des pompes		Lingettes jetées dans les WC par les habitants	Blocage des pompes, colmatage des régulateurs de débit.	Campagne d'information auprès des villageois Toujours placer le dégrilleur en amont de tous les autres ouvrages

	Description du désordre	Photos	Origines possibles	Conséquence hydraulique et aéraulique	Mesures correctives
Rongeurs	Rongeurs dans le filtre : création de chemin d'écoulements préférentiels		Gaine des câbles électriques en amidon de maïs	Risque de faire disjoncter l'installation électrique : arrêt des pompes Cadavres d'animaux dans les réseaux	Colmatage des points d'accès aux gaines Dératisation industrielle
Vannes	Vannes difficiles à manipuler, voir impossible à manipuler sur la totalité de la course		Défaut de mise en œuvre Produit facilement déformable (PEHD)	Perturbation des cycles d'alternances des lits	Démontage des vannes, identification du problème, modification de la mise en œuvre (elles ne seront plus enterrées mais mise dans un regard.
Poste refoulement	Problème dans l'automatisme de gestion des pompes		Mauvaise conception de l'installateur électrique	Un lit (ou 1/2 lit) fonctionne plus souvent que les autres	Intervention d'une entreprise spécialisée pour modifier/remplacer l'automate
Trop plein	Départ du trop plein placé trop bas		Défaut de conception Mauvaise exécution des plans	Débit qui court-circuite la station trop important	Rehausser le fil d'eau de départ avec 1) une demi-lune fixé sur paroi du regard ou 2) un coude Modifier le niveau de déclenchement des pompes pour descendre toute la ligne d'eau
	<u>Observation intéressante :</u> Arrivée de fines en extrémité de rampe du 2ème étage		<u>Hypothèse :</u> en fin de bâchée, les fines présentes dans la rampes se décantent. Il semblerait qu'à la bâchée suivante, elles soient poussées en fond de rampes, d'où la présence accrue de fines en extrémité de lit	Apport de fines plus important en extrémité de lit, augmentation du risque de colmatage.	Rinçage régulier au jet d'eau des rampes par l'extrémité avale Suivre le phénomène avec attention

3.3.2. Lien entre hydraulique et performances épuratoires

Dans le tableau qui suit, nous avons résumé les tendances auxquelles on peut s'attendre, en terme de d'épuration de l'eau, face aux dysfonctionnements hydrauliques observés. La corrélation entre hydraulique et performances épuratoire n'est pas toujours aisée à caractériser, puisque suivant la fraction de pollution à laquelle on s'intéresse, les conséquences ne vont pas dans le même sens. La position de ce tableau, qui eut également été appropriée dans la partie consacrée à la synthèse bibliographique, nous a paru plus pertinente ici, pour mieux montrer les liens entre observations de terrain et analyse des phénomènes épuratoires.

Tableau 15. Les origines des dysfonctionnements hydrauliques et leurs conséquences sur le traitement.

Paramètre hydraulique/Dysfonctionnement hydraulique	Origines	Conséquences
Importante vitesse d'infiltration	Période de démarrage du filtre (absence de dépôts) Couche de filtration de granulométrie trop grossière (4/8 mm semble trop grossier pour remplir le rôle de couche de filtration ¹⁹)	Réduction des temps de séjour de l'effluent dans le filtre, réduction de l'ensemble des rendements épuratoires (Molle 2003, Wanko 2005)
Colmatage du filtre Colmatage « faible à important » : pas de court-circuit hydraulique et ressuyage du filtre pendant les périodes de repos	Origines multiples : âge du filtre, fonctionnement en période hivernale, flux de polluant en entrée de station, charge hydraulique appliquée sur le filtre, fréquence des opérations d'entretien,	Accroissement des performances épuratrices par augmentation du temps de séjour de l'effluent dans le filtre (Wanko 2005) Stagnation des effluents en surface du filtre. Mais même si la couche de dépôts est saturée, l'intérieur du filtre restera toujours insaturé (Molle <i>et al.</i> 2006b)
Colmatage « très important à total » : court-circuit hydraulique de l'effluent par le trop plein de surface, les lits restent en charge pendant tout, ou la majorité, de la période de repos Pour plus de détails, se référer à Knowles <i>et al.</i> (2011)	Flux important en DCO (> à 20 g/m ² /j) et en MES (> à 5 g/m ² /j) (Winter and Goetz 2003 <i>in</i> Knowles <i>et al.</i> 2011) Granulats concassés (Knowles <i>et al.</i> 2011) Colmatages locaux si mauvaise répartition de l'effluent sur le filtre (Knowles <i>et al.</i> 2011)	En cas de by-pass du filtre par le trop plein de surface, le traitement réalisé se résume à une décantation courte (temps de séjour de l'effluent sur un lit de l'ordre de 2-3 fois le temps séparant 2 bâchées (en estimant que la lame d'eau présente sur le lit représente 2 à 3 fois la lame d'eau équivalent à une bâchée). Cela donne un temps de séjour moyen de l'ordre de 20 min à 1 h, suivant la STEU et le débit d'arrivée. Une partie de l'effluent sera cependant presque directement injecté dans le réseau de drains : cela concerne les points d'aspersion situé près des points de trop pleins. Ennoyage prolongé des filtres : formation de conditions anaérobies qui peuvent favoriser la synthèse de matières colmatantes par les micro-organismes (AERM 2008a) Décroissance des vitesses de nitrification (Wanko 2005)

¹⁹ Entretien avec l'Agence de l'Eau Rhin Meuse.

Paramètre hydraulique/Dysfonctionnement hydraulique	Origines	Conséquences
		Limitation de la durée de vie d'un filtre (Knowles <i>et al.</i> 2011), risque d'endommager le filtre de façon irréversible (Wanko 2005)
<p>Surcharge hydraulique (continue)</p> <p>Pour plus de détail on pourra se référer à Molle 2003 et Molle 2006a et 2006b</p> <p>(lame d'eau journalière supérieure à 0,60 sur le filtre alimenté)</p>	<p>Présence d'eaux claires parasites</p> <p>Fonctionnement en temps de pluie</p> <p>Sous- dimensionnement des lits</p>	<p>Forte aptitude de la filière à absorber les surcharges hydrauliques</p> <p>L'influence de la fréquence des surcharges est plus importante que celle de l'intensité</p> <p>Augmentation de la rétention des MES</p> <p>Les taux d'accumulation en surface du filtre risquent de dépasser les taux de minéralisation de la matière organique : augmentation du risque de colmatage (surtout au 2^{ème} étage)</p> <p>Diminution de la réaction de nitrification (Molle <i>et al.</i> 2004)</p>
<p>Bâchées proches</p> <p>(espacement de l'ordre de 30 mn)</p>		<p>Meilleure abattement de la DCO</p> <p>Oxygénation du filtre réduite, donc diminution de la réaction de nitrification.</p> <p>Augmentation du risque de colmatage (Molle 2003)</p> <p>Plus les bâchées sont rapprochées, plus le massif retient l'eau : importance de l'humectation de milieu (Molle 2003)</p> <p>La biomasse n'a pas le temps de sécher, elle est donc moins sensible au décrochage d'où le risque de colmatage, plus élevé pour le 2^{ème} étage (dans la couche de sable).</p>
<p>Bâchées éloignées</p> <p>(espacement de l'ordre de 2 h)</p>		<p>Faible temps de séjour de l'effluent dans le filtre (Molle <i>et al.</i> 2006b), car vitesse d'infiltration élevé :</p> <ul style="list-style-type: none"> - meilleur abattement pollution azoté (Molle 2003) car nitrification pendant les périodes de repos - Augmentation du relargage des MES (Molle 2003 p. 161) par décrochage - baisse des rendements en DCO (Molle <i>et al.</i> 2006b), car temps de contact et volume effectif du réacteur plus faibles - pics d'effluents non traités en sortie de station (Boller <i>et al.</i> 1993 in Molle <i>et al.</i> 2006b) <p>forte vitesse d'infiltration si lame d'eau importante.</p>
<p>Rythme d'alternance (durée phase de repos et phase</p>	<p>Lorsque le lit est en charge, la durée de ressuyage</p>	<p>Dans l'hypothèse où le filtre dispose d'une période de repos de 7 jours, une durée de</p>

Paramètre hydraulique/Dysfonctionnement hydraulique	Origines	Conséquences
d'alimentation des lits)	nécessaire pour remettre la couche de dépôt en contact avec l'atmosphère perturbe les rythmes des phases d'alimentation/repos	ressuyage de 24h reviendrait à avoir un rythme 4,5 jours d'alimentation/6 jours de repos pour le 1 ^{er} étage et 8 jours d'alimentation/6 jours de repos pour le 2 nd étage. Stefanakis et Tsihrintzis (2012) proposent une période de repos de 4 jours, qui doit aller jusqu'à 8 jours si le filtre reçoit plus de 125 g DCO/m ² /j et si l'on souhaite traiter l'azote (cas du « 1 ^{er} étage filière française »). Des mesures d'émissions de gaz (Molle <i>et al.</i> 2006a) montrent que ce n'est que vers le 6 ^{ème} jour de repos que l'activité biologique atteint une phase plus stationnaire
Zone saturée en fond de filtre	<p>Mauvais terrassement en fond de filtre (présence de dépressions, contre-pentes,...)</p> <p>Mise en charge volontaire du lit (pour noyer les adventices par exemple)</p> <p>Contre-pente dans le réseau d'évacuation des eaux traitées...</p>	<p>Le temps de séjour de l'effluent dans la partie non saturée est plus court + Oxygénation du filtre réduite car conduits d'aération occupés par de l'eau. La principale conséquence est une baisse des rendements en nitrification.</p> <p>Séjour de l'effluent dans zone anoxique : dénitrification possible</p> <p>Le mélange entre effluent frais et effluent stocké en fond de filtre (« global mixing », Giraldi <i>et al.</i> 2009) augmente avec la hauteur de la zone saturée, provoquant une baisse des rendements épuratoires (baisse des concentrations donc impact sur les cinétiques de réaction). Cependant, cette dernière observation dépend du temps de séjour de l'effluent dans la zone saturée. Ce dernier paramètre influe positivement sur les rendements épuratoires (Giraldi <i>et al.</i> 2009).</p>
Présence de mauvaises herbes	Période de démarrage Entretien insuffisant du filtre	Baisse des rendements épuratoires (voir p. 24)

Les éléments reportés dans le Tableau 15 ne sont pas exhaustifs, loin de là. Ils nous offrent cependant une première grille de décodage entre le fonctionnement hydraulique d'un filtre et ses performances épuratoires. Ce tableau est un point de départ, il a vocation à être complété et approfondi pour rendre compte de toutes les subtilités de fonctionnement que l'on retrouve parmi les FPRv. Nous nous sommes servis de notre expérience pour essayer d'y faire figurer les problématiques récurrentes, telles que le colmatage ou les rythmes de bâchées, et leur principales répercussions sur le fonctionnement du filtre.

IV. Perspectives de travaux

En 2010, l'Agence de l'Eau Rhin Meuse (AERM 2010) (comprenant les départements du Haut-Rhin, Bas-Rhin, Meurthe-et-Moselle, Moselle, Vosges, Meuse, Ardennes et Haute-Marne, dont les 3 derniers sont en dehors du champ de notre étude) estimait que sur son bassin versant, 1600 des 2873 communes de moins de 2000 habitants (soit 56 %) disposaient d'un assainissement des eaux usées non satisfaisant. Le champ de notre étude englobe en plus les départements du Doubs, Jura et territoire de Belfort. L'ensemble de ces départements se situent à l'intérieur du périmètre dans lequel l'entreprise a fait le choix de travailler.

Les perspectives de travaux concernant les systèmes de traitement des eaux usées sont difficiles à définir. Sur le bassin Rhin-Meuse, les travaux à réaliser pendant la période 2010-2015 ont été définis dans le SDAGE 2010-2015, qui consiste en une mise en application des objectifs définis par la directive cadre européenne sur l'eau de 2000 (transposée dans le droit français par la loi sur l'eau de 2004) et dont l'objectif est, rappelons-le, l'atteinte du « bon état » des masses d'eaux. Chaque département dispose ainsi de sa feuille de route (sous la forme d'un « Plan d'action territorialisé ») élaboré par les MISE (Mission interservices de l'eau). Chaque action (« action emblématique ») est définie, avec ses intervenants et son calendrier. Ainsi, pour aboutir à des perspectives de travaux chiffrées, il faudrait se pencher sur tous ces plans d'action territorialisés eux-mêmes divisés par bassins versants élémentaires. Cette enquête serait longue, pour un résultat qui n'apporterait probablement pas beaucoup d'informations nouvelles pour une entreprise qui connaît bien le contexte local.

4.1. Systèmes de traitement à créer

Les taux de raccordement à un système d'assainissement collectif observable dans le grand Est ainsi que le renouvellement des ouvrages anciens laissent prévoir des perspectives différentes suivant les départements en termes de marchés de travaux (Tableau 16). On observe sur la Figure 16 que ce ne sont pas forcément les départements ayant le plus faible taux de couverture par l'assainissement collectif qui présentent la plus grande part du marché, mais plutôt ceux où la population est élevée.

Tableau 16. Calcul de la population (en nombre d'habitants) non couverte par l'assainissement collectif dans l'Est de la France (données 2009). Sources : ServicesEau France et INSEE.

Département du grand EST (centrés autour de Colmar)		Populations couvertes en assainissement collectif (données 2009) ²⁰	Population (au 1 ^{er} janvier 2009) ²¹	Population non couvertes par l'assainissement collectif
N°	Nom			
25	Doubs	52,0 %	525 276	252 132
39	Jura	20,1 %	261 277	208 760
54	Meurthe et Moselle	61,6 %	731 019	280 711
57	Moselle	74,2 %	1 044 898	269 584
67	Bas-Rhin	88,6 %	1 094 439	124 766
68	Haut-Rhin	63,6 %	748 614	272 495
70	Haute-Saône	14,1 %	239 194	205 468
88	Vosges	72,3 %	380 192	105 313
90	Territoire de Belfort	73,7 %	142 461	37 467
			Total	1 756 697

²⁰ Valeurs pour l'année 2009. Source : <http://www.services.eaufrance.fr/synthese/cartes>

²¹ Sources : INSEE, Données au 1^{er} janvier 2009

Populations **couvertes** en assainissement collectif
(données 2009) en %

Populations **NON couvertes** en assainissement collectif
(données 2009) en nombre d'habitants

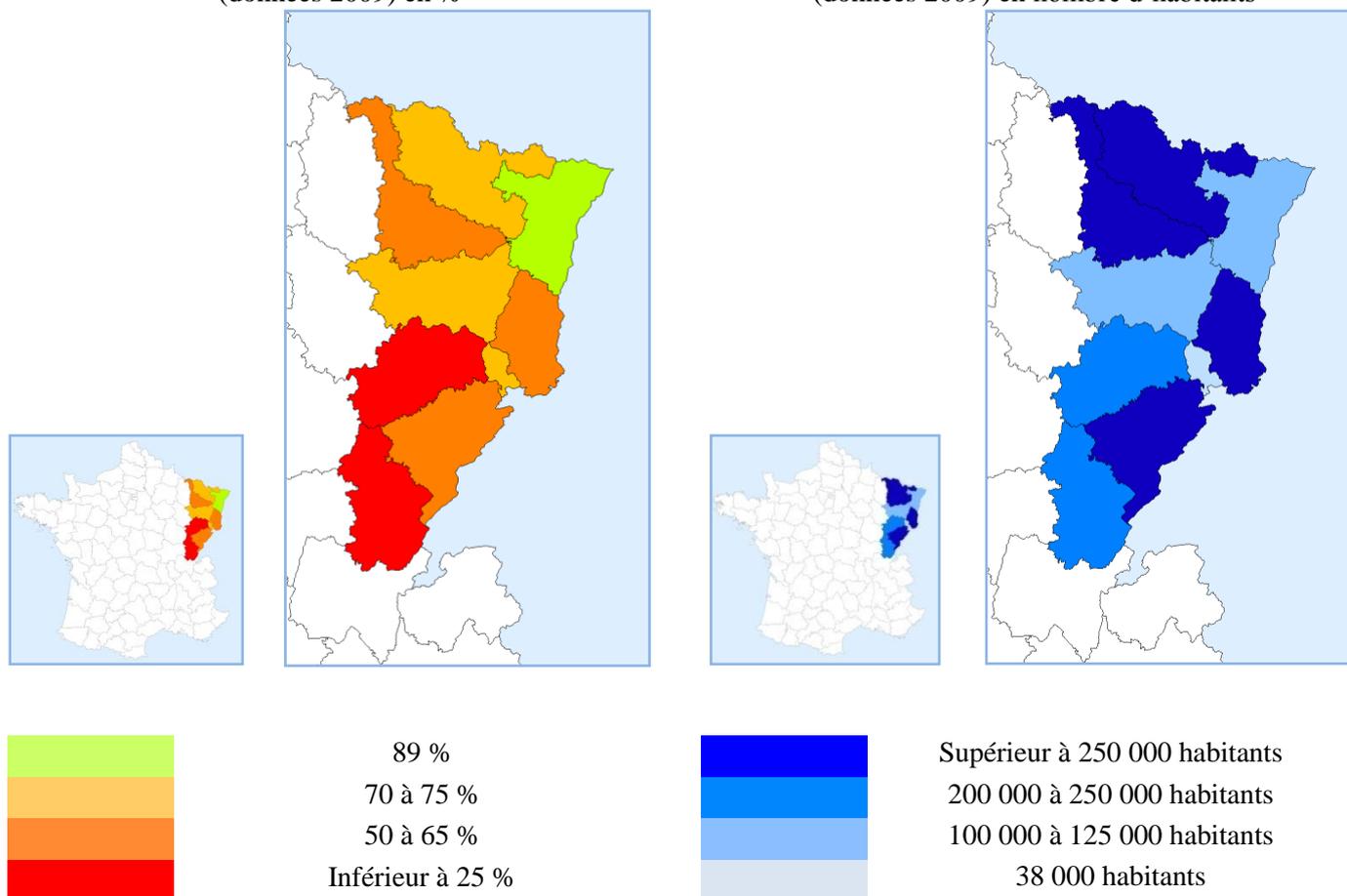


Figure 15. Perspectives de travaux en assainissement collectif et non collectif dans l'Est de la France. Sources : ServicesEau France et INSEE.

Les chiffres de la population non couverte par l'assainissement collectif fournis par le Tableau 16 et la Figure 16 comprennent à la fois la population classée en zone d'assainissement collectif, et donc qui sera raccordé dans un futur proche à une station de traitement des eaux usées (par création d'une station ou par création d'une interconnexion avec une collectivité disposant déjà d'un système de traitement et qui peut traiter une pollution supplémentaire) et la part de la population classée en zone d'assainissement non collectif. Pour cette dernière, chaque particulier est soumis à une obligation de moyens pour traiter ses eaux usées. Les filières préconisées sont celles définies dans l'arrêté du 7 septembre 2009 (pour les installations de moins de 20 EH ; pour les installations plus importantes on entre dans le périmètre de l'arrêté du 22 juin 2007) ou celles disposant d'un agrément technique du ministère de l'écologie, obtenu à l'issue d'une procédure d'évaluation fixée dans ce même arrêté. La part de population concernée par l'assainissement collectif et celle classée en zone d'assainissement non collectif n'a pu être déterminée, faute de données disponibles.

Olyr Arkedia a fait le choix de proposer une filière pour les habitations classées en zone d'assainissement non collectif (par le biais d'un partenariat avec la société Aquatiris, détentrice d'un agrément du ministère de l'écologie), elle est donc intéressée également par les chiffres concernant l'assainissement non collectif.

Le nombre de STEU à créer pour les collectivités qui ne disposent encore d'aucun système reste difficile à estimer. Si nous disposons de chiffres concernant la part de la population non couverte par l'assainissement collectif, nous n'avons pu obtenir de chiffre précis concernant le nombre d'installation à construire.

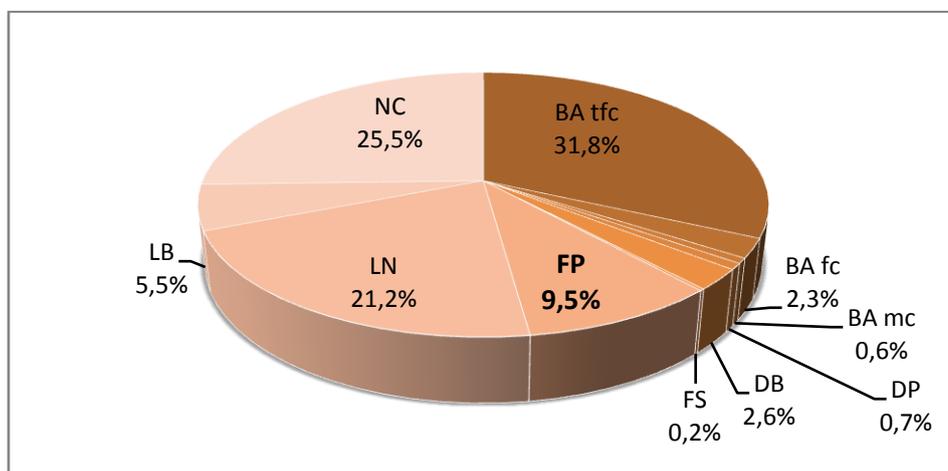
4.2. Renouvellement du patrimoine

L'agence de l'eau Rhin-Meuse indique dans une de ses études (AERM, 2010) que la durée de vie d'un ouvrage de traitement des eaux usées (toutes filières confondues) est de 20 à 30 ans, et qu'au niveau national, un quart des stations a plus de 30 ans. Cela porterait le calcul à un taux de renouvellement annuel de 3 à 5 % respectivement tandis que l'Agence de l'Eau Rhin Meuse (2010) l'estimait plutôt à 2 - 3 %.

Concernant les cas des filtres plantés de roseaux, qui ne sont pour l'instant de loin pas la filière la plus représentée (Figure 16), peu d'études donnent des éléments chiffrés sur leur durée de vie. Au vu des résultats discutés plus haut (voir p. 47), une durée de vie allant de 15 à 30 ans, voire plus, reflète ce qu'on peut observer sur le territoire français. On n'est donc guère éloigné des estimations de l'agence de l'eau Rhin-Meuse.

Parmi les 15 stations que nous avons visitées, les perspectives de travaux pour les 2-4 années à venir sont les suivantes :

- 3 stations à réhabiliter, voire à reconstruire complètement (au minimum il faudra extraire les granulats des lits, remettre des granulats propres et reprendre les systèmes d'alimentation des lits)
- 1 station est soumise à un projet d'extension pour faire face à l'évolution démographique



Légende :

	Boue activée aération prolongée (très faible charge)
BA tfc	Boue activée aération prolongée (très faible charge)
BA fc	Boue activée faible charge
BA mc	Boue activée moyenne charge
DP	Décantation physique
DB	Disques biologiques
FS	Filtres à Sables
FP	Filtres Plantés
LN	Lagunage naturel
LB	Lit bactérien
NC	Non connu

Figure 16. Répartition des stations de traitement des eaux usées (STEU) de moins de 2000 EH par type de traitement dans les départements 25, 39, 54, 57, 67, 68, 70, 88 et 90. Source: Base de données ERU, année de référence 2010.

En se référant au nombre de STEU de moins de 2000 EH sur les départements concernés par notre étude, comprenant 939 ouvrages (données 2010), le taux de renouvellement serait de 28 (renouvellement de 3%/an) à 47 (renouvellement de 5%/an) station par an. Le détail par département est repris dans le Tableau 17. A l'intérieur de ce même périmètre, on dénombre 28 % des STEU qui ont plus de 30 ans, et dont un certain nombre (12 %) ne sont pas conformes à la réglementation en vigueur (Figure 17). Ce qui laisse à penser que, théoriquement, le taux de renouvellement les prochaines années devrait être plus important que les 3 à 5 % énoncé ci-dessus.

Tableau 17. Détail du nombre de station à renouveler par an dans le périmètre de notre étude.

Département	Nombre d'ouvrages	Nombre d'ouvrage à renouveler par an avec 3 % de renouvellement	Nombre d'ouvrage à renouveler par an avec 5 % de renouvellement	Nombre d'ouvrages qui ont plus de 30 ans
25	267	8	13	78
39	106	3	5	42
54	81	2	4	15
57	184	6	9	56
67	34	1	2	11
68	35	1	2	10
70	163	5	8	42
88	53	2	3	16
90	16	0	1	0
	Total	28	47	270

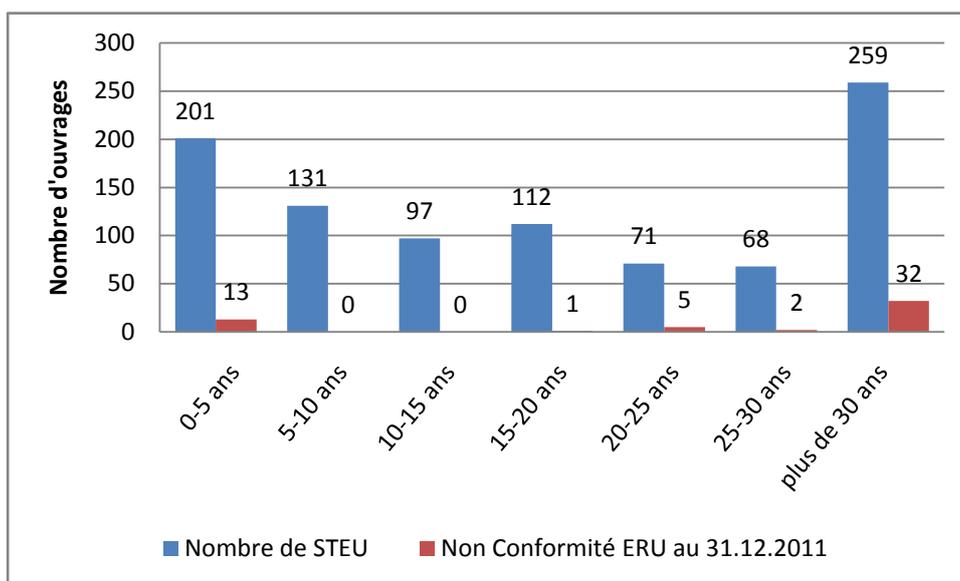


Figure 17. Age des stations de traitement des eaux usées (STEU) de moins de 2000 EH dans les départements 25, 39, 54, 57, 67, 68, 70, 88 et 90. Source: Base de données ERU, année de référence 2010²². La conformité ERU fait référence à la mise en conformité des équipements de la STEU à la directive européenne « eaux résiduelles urbaines » de 1991.

Ces derniers chiffres ne tiennent pas compte des ouvrages réalisés depuis le 1^{er} janvier 2011. Au regard du nombre d'appels d'offres qui ont été publiés depuis cette date, il est raisonnable d'estimer que quelques dizaines de stations, déjà réalisées ou en cours de réalisation sont à ajouter à ces chiffres.

Précision intéressante, une étude concernant les filtres à sable²³ réalisée auprès des SATESE, à la demande de l'ONEMA fin 2011, met à jour que plus d'un tiers (soit plus de 470) des systèmes de traitement des eaux usées par cultures fixées (filtres à sables, bassins d'infiltration-percolation et filtres à zéolithes), pour la plupart d'une capacité de traitement inférieure à 200 EH, dysfonctionnent.

²² Consulté le 4 juin 2012 : <http://www.assainissement.developpement-durable.gouv.fr/services.php>

²³ Source : <http://www.actu-environnement.com/ae/news/filtres-plantés-roseaux-oieau-boues-eaux-usees-15794.php4> (1.06.2012)

Une étude, réalisée par un prestataire privé pour le compte d'Olry Arkedia début 2009 sur les départements 25, 57, 67, 68, 88 et 90 faisait état de 32 projets de construction (neuf ou renouvellement) de station de traitement des eaux usées dans une échéance de 2 ans. L'enquête ne mentionne pas la capacité de ces projets de station, ni la filière envisagée. Cependant, au regard des caractéristiques des communautés de communes concernées (population, STEU existantes), il semble que plus de la moitié, voire les deux tiers des projets concernent une STEU de capacité inférieure ou égale à 2000 EH. Hormis le territoire de Belfort, on constate de 4 à 10 projets par département, dont l'échéance est variable, comme illustré sur la Figure 18. Ces chiffres, bien que moindres, sont *grosso modo* du même ordre de grandeur que ceux obtenus par le calcul du taux de renouvellement (Tableau 17).

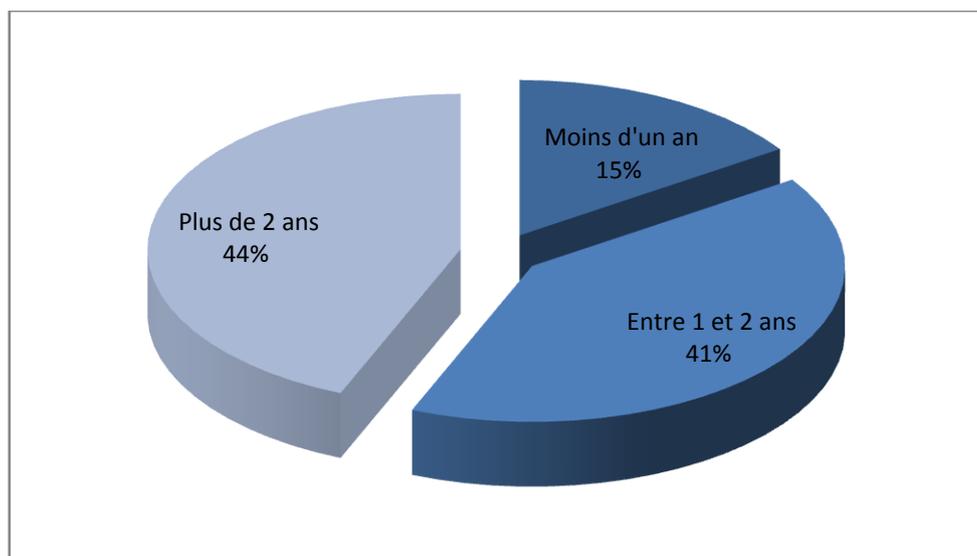


Figure 18. Echéances des projets de construction d'une STEU. Source : enquête réalisée pour Olry Arkedia en 2009 sur les départements 25, 57, 67, 68, 88, 90.

Ainsi, sur l'espace des départements concernés par notre étude, les estimations iraient de 30 à 50 installations (STEU d'une capacité de moins de 2000 EH) à construire ou à réhabiliter par an, pour cause de remise en conformité. Ces chiffres pourraient cependant être légèrement supérieurs dans les quelques prochaines années, puisque plus d'un quart des stations (28 %) sont âgées de plus de 30 ans, date à laquelle on observe souvent que les ouvrages sont en fin de vie.

L'enveloppe budgétaire des chantiers de réhabilitations est très variable, probablement dans une plus grande mesure encore que pour les travaux de neuf. Les travaux de remise en conformité peuvent en effet aller d'un simple remplacement de granulats avec reprise de quelques tronçons de réseaux et quelques ouvrages, à des travaux plus complexes consistant en la démolition d'une filière existante pour la remplacer par une filière neuve, complètement différente.

4.3. Autres travaux

Une des tâches qui était associée à ce travail fut de déterminer parmi les communes visitées, quelles seraient celles qui pourraient être intéressées par un contrat d'exploitation ou un contrat de type service d'assistance (avec une à deux interventions annuelles prévues, plus d'autres en cas de demande). Il s'avère que les principaux travaux que les communes ne sont pas capables de réaliser en régie sont ceux concernant les postes de refoulement (curage des postes, entretien des pompes, remplacement des pompes), ce qui est en dehors du champ d'action de notre entreprise. Trois communes disposent d'un contrat de type assistance avec des entreprises familières avec ce type de gestion de contrats et proposant justement l'entretien du matériel électromécanique (2 contrats avec le SDEA du Bas-Rhin, 1 contrat avec Véolia).

Pour le reste, les stations sont entretenues par les maires, adjoints et employés communaux, souvent avec une large part de bénévolat.

Ainsi, il ne sera fait appel à notre entreprise qu'en cas de dysfonctionnements ou de modifications qui seront en lien avec ceux que nous avons précédemment réalisés.

4.4. Profil moyen d'une STEU

Dans l'optique d'avoir un ordre d'idée quant au chiffre d'affaire apporté par une STEU, nous avons passé en revue une quarantaine de stations, chiffrées par le responsable d'activité Travaux Publics de l'entreprise Olry Arkedia, entre 2003 et 2012. Les prix ont été actualisés sur la base de l'indice TP 01, avec la formule indiquée dans le CCAG Travaux, également proposé par le Syntec²⁴ (mais avec un indice différent) :

$$\text{Prix actualisé} = \text{Prix initial} \cdot \frac{\text{Valeur de l'indice au 01/01/2012}}{\text{Valeur de l'indice au 01/01 de l'année du chiffrage}}$$

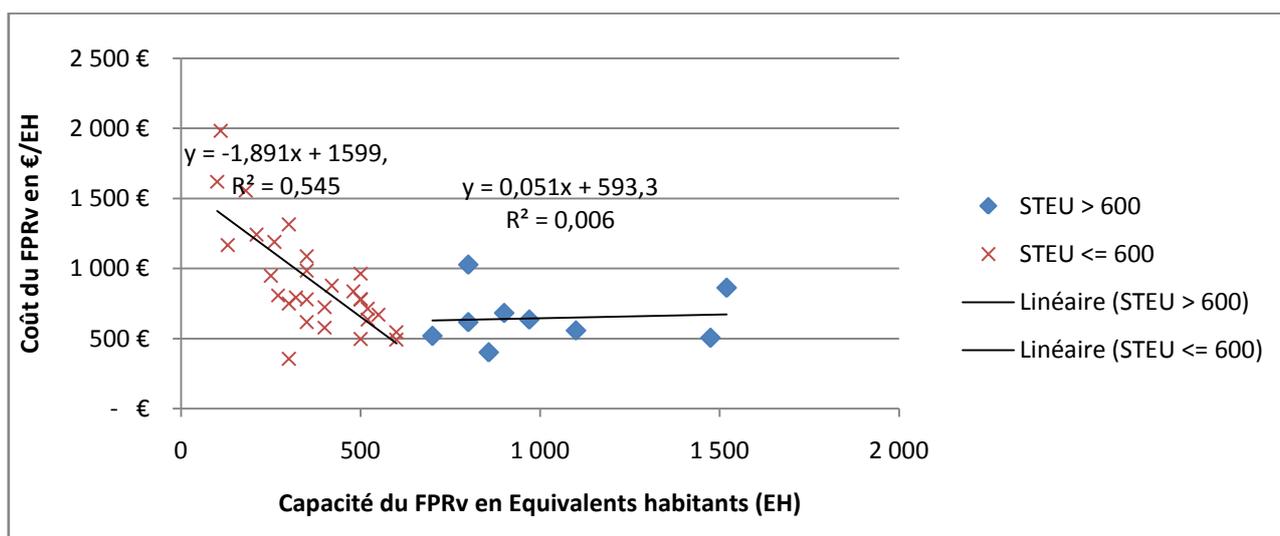


Figure 19. Coût moyen d'un filtre planté de roseau composé de deux étages à écoulement vertical. Source: chiffrage Olry Arkedia réalisé entre 2003 et 2012.

On constate Figure 19 qu'avec l'effet d'échelle, le coût moyen unitaire d'un filtre planté de roseaux baisse fortement avec la taille de la station, diminuant d'environ 1400 €/EH pour une station de 100 EH à environ 500 €/EH pour une station de plus de 1000 EH. Il apparaît cependant qu'à partir de 700 EH, le coût moyen unitaire ne dépend plus autant de la taille de la station, et qu'un coût unitaire inférieur à 500 €/EH est rarement atteint. Il est intéressant de remarquer que ce dernier graphique rappelle une constatation faite au début de ce rapport : les FPRv intéressent surtout les petites collectivités. Ainsi, les trois quart des installations qui ont été chiffrées par Olry Arkedia concernaient des agglomérations d'assainissement de moins de 600 EH.

Un dernier résultat, a priori surprenant, est celui du faible impact des postes de refoulement²⁵ sur le coût unitaire d'une station. Comme cela est représenté sur la Figure 20. Coût moyen d'un FPRv et postes de refoulement. Source: chiffrage Olry Arkedia réalisé entre 2003 et 2012. Figure 20, il s'avère que les stations équipées d'un ou de deux postes de refoulement ne sont pas significativement plus chères (la différence des moyennes n'est pas significative

²⁴ Source : Syntec, <http://www.syntec.fr/content/view/19/> (consulté le 25 juin 2012)

²⁵ Un poste de refoulement est constitué d'une cuve, de 2 ou 3 pompes et de sondes de niveaux. Nous n'avons pas différencié les stations équipées d'un seul poste de refoulement de celles en ayant deux.

au seuil de 5% pour les stations de capacité inférieure ou égale à 600 EH) que celles munies d'ouvrages de bâchées, fonctionnant sans apport d'énergie. On note un surcoût moyen de l'ordre de 120 €/EH lorsqu'il y a présence d'équipements électromécaniques.

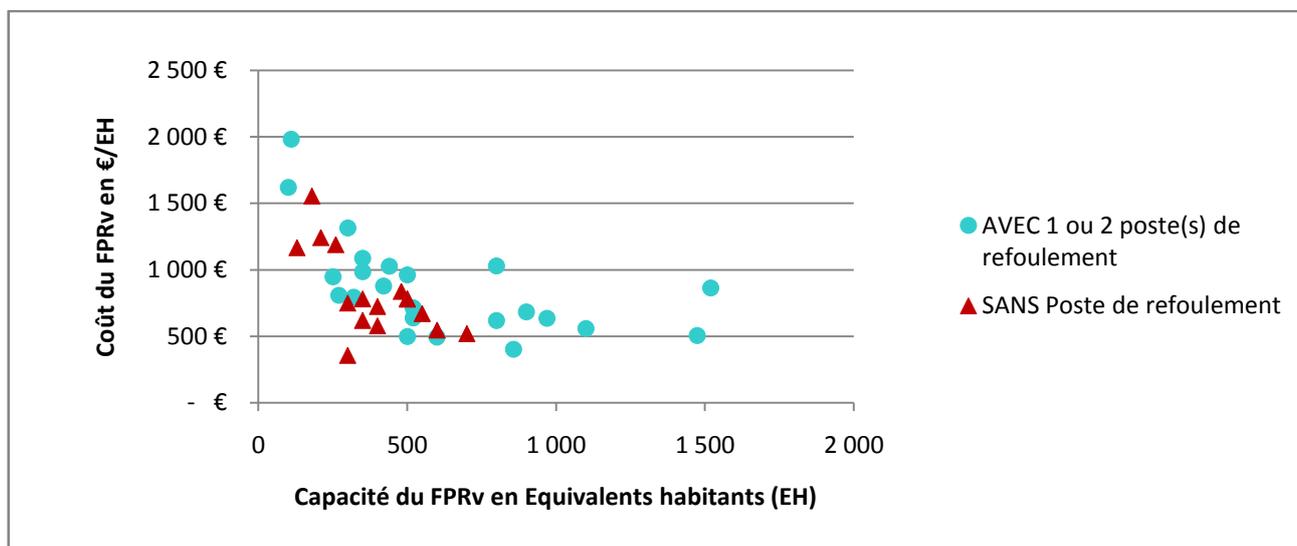


Figure 20. Coût moyen d'un FPRv et postes de refoulement. Source: chiffrage Olry Arkedia réalisé entre 2003 et 2012.

Ces observations restent très générales, comme le montre les valeurs basses des coefficients de corrélation R^2 sur la Figure 19. Et la présence d'un ou de deux postes de refoulement n'influe que très partiellement sur ces fortes disparités. On observe par exemple que pour les stations de capacité inférieure ou égale à 600 EH, le coût unitaire moyen varie du simple au double. On en conclut donc que, même si l'on dispose de fourchettes de prix, ces derniers restent relativement variables d'une installation à l'autre.

Conclusion

Ce travail s'est focalisé sur les points sensibles du fonctionnement des filtres plantés de roseaux à écoulement vertical et les désordres pouvant les affecter, dans l'intérêt de réutiliser et valoriser les informations récoltées. Par l'observation des phénomènes de vieillissement, cette étude s'est intéressée aux limites des FPRv. Il ne faut pourtant pas voir les FPRv comme des systèmes fragiles ou moins efficaces que d'autres filières de traitement des eaux usées. Au contraire, les FPRv ont plusieurs avantages décisifs face aux autres systèmes, tels que la gestion des boues, une forte adaptabilité aux variations de charges, de très bon rendements épuratoires avec la matière organique et de faibles coûts d'exploitation, ce qui explique les raisons de leur succès.

Cette étude s'inscrit comme une étape logique dans la démarche qualité que mène l'entreprise. Les FPRv, souvent présentés comme une filière relativement simple à dimensionner (en témoigne le nombre important de bureaux d'études qui ont récemment acquis cette compétence) et de construction peu complexe, ne nécessitent pas moins de disposer d'une compréhension fine des phénomènes qui s'y déroulent et de la manière dont ils peuvent évoluer au cours du vieillissement du filtre.

Les filtres plantés de roseaux ont cela de propre que leur fonctionnement et les processus épuratoires qui s'y déroulent demeurent difficiles à modéliser, comme cela est souligné par plusieurs auteurs. Cette difficulté provient aussi bien de la complexité du réacteur (le filtre) que de la grande variété de configuration et de dimensionnement des ouvrages. Il en résulte donc une approche fortement expérimentale de la compréhension et du diagnostic de ce procédé de traitement des eaux usées.

L'analyse de données provenant de 12 stations de traitement des eaux usées nous a permis d'obtenir les résultats suivants :

- 23 % des bilans 24h présentent au moins une mesure qui ne respecte pas les exigences réglementaires de rejet dans le milieu naturel, mais plus de la moitié de ces non-conformités ne s'écartent pas de plus de 10% des objectifs à atteindre.
- Les performances épuratoires des FPR (construits à partir de 1998) s'améliorent pendant les premières années de fonctionnement. On observe un régime transitoire qui dure environ 3 ans.
- Les premiers filtres plantés de roseaux (construits en 1994-1995), notamment caractérisés par la présence d'un prétraitement avec décanteur-digesteur et d'un deuxième étage à écoulement horizontal, présentent des performances inférieures et moins fiables que celles des filtres plus récents. En outre, ces dernières diminuent avec l'âge de la station.
- On estime la durée de vie des filtres les plus anciens à environ 15 ans, tandis que pour les filtres plus récents, il est permis de penser qu'ils pourront atteindre au moins 25-30 ans.

Les méthodes d'analyse utilisées pour obtenir ces résultats sont exploitables comme autant d'outils de suivi du vieillissement du filtre :

- Outil 1 : comparaison des performances de traitement avec les exigences du cahier des charges,
- Outil 2 : suivi de l'évolution des performances d'un filtre en fonction de son âge,
- Outil 3 : diagnostic des dysfonctionnements, qui sont à considérer comme autant d'indicateurs, pour décider quelle opération d'entretien ou de réhabilitation entreprendre, et à quelle échéance la déclencher.

Enfin, l'analyse des perspectives du marché dans les départements limitrophes du Haut-Rhin, où siège l'entreprise Olry Arkedia, montrent que plusieurs dizaines de communes par département ne sont pas encore équipées d'un système de traitement des eaux usées conforme à la réglementation, et qu'un plus petit nombre devra également entreprendre des travaux de réhabilitation ou d'extension dans un avenir proche (5-10 ans). Cela confirme l'intérêt d'avoir mené une telle étude.

L'entreprise Olry Arkedia, a su se positionner depuis une vingtaine d'année sur un marché où elle est reconnue comme étant bien plus qu'un simple exécuteur de travaux. Ainsi, dans un moment où les communes ont de plus en plus de difficultés à obtenir des prêts bancaires et où la concurrence se fait de plus en plus agressive, cette étude intervient comme un atout pour l'entreprise et lui permettra d'augmenter la valeur technique de ses projets puisque lors de la détermination de l'offre la « mieux disante », un nombre important de points est attribué à la valeur technique de l'offre.

Bibliographie

- AELB** (Agence de l'Eau Loire Bretagne) et AR SATESE (2008a); Bilan de fonctionnement des procédés de traitement des eaux usées pour les stations d'épuration de petites capacités du bassin Loire-Bretagne, Rapport final et étude de cas Volume 1; 100 p.; Disponible sur : < http://www.eau-loire-bretagne.fr/espace_documentaire/documents_en_ligne/fiches_de_synthese/annee_2008/IIB1396_1.pdf> (consulté le 03/02/2012).
- AELB** (Agence de l'Eau Loire Bretagne) et AR SATESE (2008b); Bilan de fonctionnement des procédés de traitement des eaux usées pour les stations d'épuration de petites capacités du bassin Loire-Bretagne, Recommandations pour l'exploitation des filtres plantés de roseaux à écoulements vertical et synthèse bibliographique Volume 2; 105 pages; Disponible sur : <URL http://www.eau-loire-bretagne.fr/espace_documentaire/documents_en_ligne/fiches_de_synthese/annee_2008/IIB1396_2.pdf> (consulté le 03/02/2012).
- AERM** (Agence de l'Eau Rhin-Meuse) (2006); Note sur le dimensionnement des stations d'épuration du bassin Rhin-Meuse ; 21 p.
- AERM** (Agence de l'Eau Rhin-Meuse) (2007); Les procédés d'épuration des petites collectivités du bassin Rhin-Meuse, Eléments de comparaison techniques et économiques ; 173 p.
- AERM** (Agence de l'Eau Rhin-Meuse) (2008a); Recommandations pour le bon fonctionnement des stations d'épuration filtres plantés de roseaux ; 28 p.
- AERM** (Agence de l'Eau Rhin-Meuse) (2008b); Assainissement des collectivités formant des agglomérations d'assainissement de moins de 2000 EH, Modalités générales d'intervention de l'agence de l'eau Rhin-Meuse ; Journée maîtrise d'œuvre et assainissement des petites collectivités, Novembre 2008 ; 16 p.
- AERM** (Agence de l'Eau Rhin-Meuse) (2010); Pressions de pollution d'origine urbaine, industrielle et agricole ; 12 p. ; Disponible sur : <URL : <http://www.eau-rhin-meuse.fr/tlch/press/cb151010/pressions-w.pdf>> (consulté le 1/06/2012)
- AERMC** (Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse) (2003); Épuration des eaux usées domestiques par filtration sur lits plantés de macrophytes, Prescriptions & recommandations pour la conception et la réalisation ; Groupe Macrophytes et traitement des eaux ; version du 29 décembre 2003, 47 p.
- AERMC** (Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse) (2005); Épuration des eaux usées domestiques par filtration sur lits plantés de macrophytes, Prescriptions & recommandations pour la conception et la réalisation ; Groupe Macrophytes et traitement des eaux ; version du 1^{er} juin 2005, 46 p.
- ARPE** Région PACA (2006), Guide technique pour la réalisation de stations d'épurations par filtres plantés de roseaux 14 pages; Disponible sur : <URL : <http://epnac.cemagref.fr/documentation/documents-pdf/documentation.2011-05-12.4793440868?searchterm=arpe>> (consulté le 29/03/2012)
- Ayaz S. Ç., Aktaş Ö., Findik N., Akça L., Kinacı C.** (2012); Effect of recirculation on nitrogen removal in a hybrid constructed wetland system; Ecological Engineering 40 (2012) 1-5
- CCTG Fascicule 81 titre II**, Conception et exécution d'installation d'épuration d'eaux usées; Direction des affaires économique et internationales ; Mars 2003
- CEMAGREF** (2008); Evaluation du procédé RhizoSTEP® de SAUR; Coordination : P. Molle; Département Milieux Aquatiques, Qualité et Rejets; Unité de recherche « Qualité des Eaux et prévention des Pollutions » ; 55 pages
- CG 16** (Conseil général de la Charente) (2005); Retour d'expérience sur la réalisation et le fonctionnement des filtres plantés de roseaux en Charente, Service d'Aide à la Gestion de l'Assainissement ;
- Chabaud S.**, (2007); Influence du biofilm sur les performances des systèmes de traitement par infiltration dans le sol : application à l'assainissement collectif ; Thèse, Université de Nantes ; 223 pages
- Chazarenc F., Brisson J., Merlin G.**, (2010); Seasonal end spatial changes of microorganism communities in

constructed wetlands: a community physiological profiling analysis; International Journal of Chemical Engineering, Vol. 2010, Article ID 490240, 6 pages

- Cooper P. (2009)**; What Can we learn from old wetlands? Lessons that have been learned and some that may have been forgotten over the past 20 years; Desalination; 246, 11-26
- FNDAE, Ministère de l'Agriculture et de la Pêche ; Document Technique n°22**, Filières d'épuration adaptées aux petites collectivités ; 1997 ; 96 pages.
- Giraldi D., Vitturi MM., Zaramella M., Marion A. Ianelli R. (2009)** ; Hydrodynamics of vertical subsurface flow constructed wetlands: Tracer tests with rhodamine WT and numerical modeling; Ecological Engineering , 35, 265-273
- Haarstad K., Bavor H. J., Maehlum T. (2012)**; Organic and metallic pollutants in water treatment and natural wetlands: A review; Water Science and Technology, Vol. 65, issue 1, 2012, p.76-99
- Havens K. J., Berquist H., Priest W. I., (2003)**; Common Reed Grass, *Phragmites australis*, expansion into constructed wetlands: are we mortgaging our wetland future?; Estuaries, Vol. 26, No 2B, p. 417-422
- Hijosa-Valsero M., Sidrach-Cardona R., Martín-Villacorta J., Bécares E. (2011)** ; Statistical modeling of organic matter and emerging pollutants removal in constructed wetlands ; Bioresource technology, 102, 4981-4988
- Knowles P., Dotro G., Nivala J., García J. (2011)** ; Clogging in subsurface-flow treatment wetlands : Occurrence and contributing factors ; Ecological Engineering ; 37, 99-112
- Langergraber G. (2008)**; Modeling of Processes in Subsurface Flow Constructed Wetlands: a Review; Vadose Zone Journal; Vol. 7, No. 2, 830-842
- Langergraber G., Giraldi D., Mena J., Meyer D., Peña M. (2009)** ; recent developments in numerical modelling of subsurface flow constructed wetlands ; Science of the total environment ; 407, 3931-3943
- Le Ber F.** Cours d'Analyse de données ; Ecole Nationale du Génie de l'Eau et de l'Environnement de Strasbourg (ENGEES)
- Liénard A., Guellaf H., Boutin C. (2000)** ; Choix de sable pour les lits d'infiltration-percolation ; Ingénieries ; N° spécial 2000, 59-66
- Liey S. (2010)** ; Quelles valorisations pour les dépôts du premier étage des filtres plantés d'hélophytes traitant des eaux usées brutes ? ; Mémoire de fin d'étude Ingénieur ; Ecole Supérieure d'Agriculture d'Angers (ESA) et Atelier Reeb (Strasbourg) ; 89 pages.
- Liey S., Reeb G., (2010)** ; Role, characterization and importance of deposits at stage 1 of vertical flow constructed wetlands receiving raw sewage; 12th IWA international conference on wetland systems for water pollution control - October 4-8, 2010, Venice, Italy
- Loos Sparfel C., Jean-Paul Mesters J.-P. (2007)** ; VBA pour Office 2007, automatisez les tâches sous Microsoft Word, Microsoft Excel et Microsoft Access 2007, Edition Micro Application, 1141 pages.
- MAGE 42** (Conseil Général de la Loire, Mission départementales d'assistance à la gestion de l'eau) **(2007a)**; Stations d'épuration des petites collectivités, Recommandations issues du retour d'expérience M.A.G.E. 42 (tome 1); 55 pages ; Disponible sur : <URL : <http://epnac.cemagref.fr/documentation/documents-pdf/stations-depuration-des-petites-collectivites-recommandations-issues-du-retour-dexperience-m-a-g-e/view>> (consulté le 03/02/2012).
- MAGE 42** (Conseil Général de la Loire, Mission départementales d'assistance à la gestion de l'eau) **(2007b)**; Les filtres plantés de roseaux, Eléments de diagnostic, M.A.G.E. 42 (tome 6); 35 pages ; Disponible sur : <URL : <http://epnac.cemagref.fr/documentation/documents-pdf/les-filtres-plantés-de-roseaux-elements-de-diagnostic/view> > (consulté le 03/02/2012).
- MAGE 42** (Conseil Général de la Loire, Mission départementales d'assistance à la gestion de l'eau) **(2007c)**; Stations d'épuration des petites collectivités, Documents guide issus des groupes de travail, M.A.G.E. 42 (tome 7); 39 pages ; Disponible sur : <URL : <http://epnac.cemagref.fr/documentation/documents-pdf/stations-depuration-des-petites-collectivites-documents-guides-issus-des-groupes-de-travail/view?searchterm=mage>> (consulté le 03/02/2012).

- MAP** (Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, Conseil Général de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Espaces ruraux, Pôle d'Appui techniques), (2007) ; Cadre Guide pour un Cahier de Clauses techniques Particulières Filtres Plantés de Roseaux, version Avril 2007, 76 pages.
- MEDDE** (Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie, Direction Générale de l'Aménagement, du logement et de la Nature, Direction de l'Eau et de la Biodiversité, Sous-direction de la Protection et de la Gestion des Ressources en eau et Minérales) (2012); Note sur le débit de référence du système d'assainissement, Version 2.2.1
- Meier P.** ; Travaux pratiques Etudes d'eaux résiduaires, Ecole Nationale du Génie de l'Eau et de l'Environnement de Strasbourg (ENGEES)
- Molle P. et al. (2006a)**; Elimination de l'azote global dans les filtres plantés de roseaux, Travail collectif de : Laure Gamet, Stéphanie Prost-Boucle, Zeqin Dong et Gwenaël Bolomey ; Encadrement et synthèse réalisés par Pascal Molle, CEMAGREF ; 64 pages
- Molle P., Liénard A., Boutin C., Merlin G., Iwema A. (2004)**; Traitement des eaux usées domestiques par marais artificiel : état de l'art et performances des filtres plantés de roseaux en France ; Ingénieries eau agriculture et territoire ; n° spécial 2004 ; p. 23-32
- Molle P., Liénard A., Grasmick A. , Iwema A. (2006b)** ; Effect of reeds and feeding operations on hydraulic behaviour of vertical flow constructed wetlands under hydraulic overloads ; Water Research ; 40, 606-612
- Molle P., Prost-Boucle S. (2011)** ; Note : Superposition des 2 étages de filtres plantés de roseaux à écoulement vertical, retour d'expérience issu de la station de Saint Michel l'Observatoire (04), procédé Bi-filtre® ; CEMAGREF et Epur Nature ; 6 p.
- Molle P., Prost-Boucle S., Liénard A. (2008)** ; Potential for total nitrogen removal by combining vertical flow and horizontal flow constructed wetlands: A full-scale experiment study; Ecological engineering, Vol. 34, 23-29
- Molle P. (2003)**; Filtre plantés de roseaux : limites hydrauliques et rétention du phosphore, Thèse Université de Montpellier II ; 216 p. + Annexes
- Perez F. (2010)** Mise à jour du guide de l'agence de l'eau Rhin-Meuse sur les procédés d'épuration des petites collectivités ; Mémoire de fin d'étude pour l'obtention d'un Mastère; Ecole Nationale du Génie de l'Eau et de l'Environnement de Strasbourg (ENGEES) ; 117 pages.
- Petitjean A. (2012)** ; Modélisation des transferts réactifs diphasiques dans les filtres verticaux pour le traitement des eaux résiduaires urbaines ; Thèse Université de Strasbourg ; 166 pages.
- Prost-Boucle S. et Molle P. (2008)**; Déphosphatation des eaux usées par filtres plantés garnis d'apathies ; Fiche technique CEMAGREF ; 2 p. ; Disponible sur : < <http://epnac.cemagref.fr/documentation/documents-pdf/documentation.2011-06-08.6889491139/body> > (consulté le 23/04/2012)
- Prost-Boucle S. et Molle P. (2010)**; Usage de la recirculation sur un étage de filtres plantés à écoulement vertical, Résumé des interventions ; Pollutec 2010 – Journée d'échanges, Traitement des eaux usées, des boues et des matières de vidange pour les petites et moyennes collectivités, 4 p.
- Rigollet P. (2008)**; Access 2007 : Le manuel de référence + le cahier d'exercice ; Editions ENI, 691 pages
- Sadowski A.-G.**; Cours de traitement des eaux usées, Ecole Nationale du Génie de l'Eau et de l'Environnement de Strasbourg (ENGEES)
- Saporta G. (2006)**; Probabilités, Analyse de données et statistique ; 2^{ème} édition augmentée et révisée ; Editions TECHNIP, Paris ; 622 pages.
- SATESA 67** (Service d'Assistance technique à l'Exploitation des Systèmes d'Assainissement, Conseil Général du Bas-Rhin du Bas-Rhin) (2011) ; Fonctionnement des stations d'épuration urbaines du Bas-Rhin, Bilan 2010 ; 485 pages ; Disponible sur : < <http://www.bas-rhin.fr/territoires/observatoire-l-eau/services-publics-eau-et-assainissement> > (consulté le 19/01/2012)
- SATESE 56 (2008)**; Etude 2008, Filtres plantés de roseaux, Réalisation et fonctionnement dans le Morbihan ; 39 pages, Disponible sur : < <http://epnac.cemagref.fr/documentation/documents-pdf/documentation.2011-06-08.7374181917/> > (consulté le 09/02/2012).

- Simmons M. T., Venhaus H. C., Windhager S. (2007);** Exploiting the attributes of regional ecosystems for landscape design: The role of ecological restoration in ecological engineering, Editorial ; Ecological Engineering; Vol. 30, 201-205
- Sklarz M. Y., Gross A., Soares M. I. M., Yakirevich A. (2010);** Mathematical model for analysis of recirculating vertical flow constructed wetlands; Water Research 44 (2010) 2010-2020
- Stefanakis A. I., Tsihrintzis V. A. (2012a);** Effects of loading, resting period, temperature, porous media, vegetation and aeration on performance of pilot-scale vertical flow constructed wetlands; Chemical Engineering Journal, 181-182, (2012) 416-430
- Stefanakis A. I., Tsihrintzis V. A. (2012b);** Use of zeolite and bauxite as filter media treating the effluent of Vertical Flow Constructed Wetlands; Microporous and Mesoporous Materials 155 (2012) 106-116
- Sun G., Cooper D., (2008);** A statistical analysis on the removal of organic matter in subsurface flow constructed wetlands in the UK; Environmental Technology, Vol. 29, pp 1139-1144
- Tapia Padilla G. (2010);** Modélisation et optimisation des processus de dépollution de matrices biologiques poreuses contaminées par des pesticides : vers une nouvelle fonctionnalité des bassins d'orages ; Thèse présentée à l'Université de Strasbourg ; 229 pages
- Vera I., García J., Sáez K., Moragas L., Vidal G. (2011) ;** Performances evaluation of eight years experience of constructed wetlands systems in Catalonia as alternative treatment for small communities; Ecological Engineering, Vol. 37, 364-371
- Vymazal J. (2011a);** Constructed Wetlands for wastewater treatment: five decades of experience; Environ. Sci & Technol.; 45, 61-69
- Vymazal J. (2011b);** Plants used in constructed wetlands with horizontal subsurface flow: a review; Hydrobiologia; 674, 133-156
- Vymazal J. (2011c);** Long-term performance of constructed wetlands with horizontal sub-surface flow: Ten case studies from the Czech Republic; Ecological Engineering, Vol. 37, 54-63
- Wallace S., Austin D. (2008);** Emerging models for nitrogen removal in treatment wetlands; Journal of environmental health, Vol. 71, No 4, 10-16
- Wanko Ngnien A. (2005);** Etude des mécanismes de transfert et évaluation des capacités d'oxygénation et de traitement des dispositifs par cultures fixées sur supports granulaires fins ; Thèse présentée à l'Université Louis Pasteur – Strasbourg I ; 238 pages

Nombre de références bibliographiques : 63

Bases de données

Base de données	Adresse
INSEE	http://www.insee.fr/fr/
Base de données ERU, Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie ; Portail d'information sur l'assainissement communal	http://assainissement.developpement-durable.gouv.fr/
Observatoire national des services d'eau et d'assainissement	http://www.services.eaufrance.fr/base/telechargement http://services.eaufrance.fr/synthese/cartes
SIERM (Service d'information	http://www.services.eaufrance.fr/base/telechargement
SATESE du Haut-Rhin	Données non publiques

Dernière consultation des sites internet : 20/07/2012.

ANNEXE I. Préparation des données pour l'analyse factorielle des correspondances multiples (AFCM)

4.4.1.1. Variables quantitatives et qualitatives

Nom Ouvrage	Boues	Fonctionnement hydraulique du 1 ^{er} étage de traitement				Rendements épuratoires			
	Hauteur dépôts	Zones Mortes en surface (absence de dépôts, voir absence de roseaux)	Dépôts partout et absence de stagnation d'effluent entre 2 bâchées	Lit reste ennoyée entre 2 bâchées	Court-circuit hydraulique par le trop plein de surface du filtre	DCO	NTK	MES	Age
ALLENWILLER	10	FAUX	FAUX	VRAI	FAUX	87	93	96	7
ERCKARTSWILLER	9	FAUX	VRAI	FAUX	FAUX	80	91	90	13
EGLINGEN NIEDERFELD	1	FAUX	FAUX	VRAI	VRAI	84	78	92	16
EGLINGEN ALLMENDGRABEN	1	FAUX	FAUX	VRAI	VRAI	62	36	73	16
FELDBACH	1	VRAI	FAUX	FAUX	FAUX	81	89	94	5
KNOERINGUE	6	FAUX	FAUX	VRAI	FAUX	90	94	95	7
LIEBSDORF	0,5	VRAI	FAUX	FAUX	FAUX	84	83	95	3
LUTTER RAEDERSDORF		VRAI	FAUX	FAUX	FAUX	88	84	93	3
MAGSTATT-LE-HAUT	9	FAUX	FAUX	VRAI	FAUX	86	91	95	7
MANSPACH	8	FAUX	FAUX	VRAI	VRAI	81	59	95	16
RIESPACH	0,5	VRAI	FAUX	FAUX	FAUX	86	81	93	2
WAHLBACH	0,5	VRAI	FAUX	FAUX	FAUX	88	86	94	2
Valeurs attribuées si VRAI (classées par gravité du dysfonctionnement croissante) :									
<i>Si deux valeurs VRAI apparaissent pour le fonctionnement hydraulique, (exemple : Eglingen Niederfeld), seule celle qui correspond à la gravité la plus importante est retenue</i>		1	2	3	4				

4.4.1.2. Transformation en données qualitatives

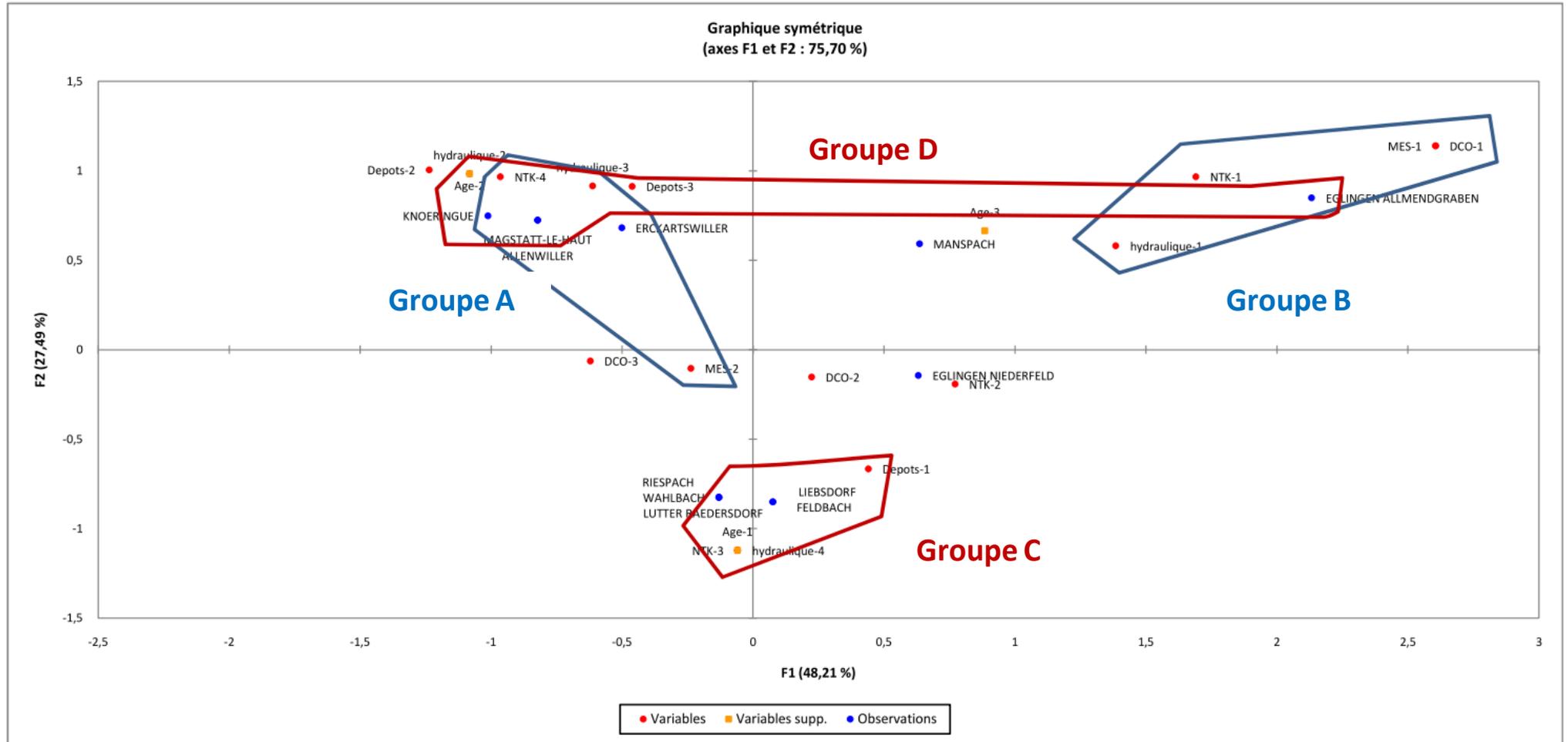
Nom Ouvrage	Dépôts	Fonctionnement hydraulique du 1 ^{er} étage	Rendements épuratoires			Age (traité en donnée supplémentaire)
			DCO	NTK	MES	
ALLENWILLER	3	2	3	4	2	2
ERCKARTSWILLER	3	3	2	4	2	3
EGLINGEN NIEDERFELD	1	1	2	2	2	3
EGLINGEN ALLMENDGRABEN	1	1	1	1	1	3
FELDBACH	1	4	2	3	2	1
KNOERINGUE	2	2	3	4	2	2
LIEBSDORF	1	4	2	3	2	1
LUTTER RAEDERSDORF	1	4	3	3	2	1
MAGSTATT-LE-HAUT	3	2	3	4	2	2
MANSPACH	3	1	2	1	2	3
RIESPACH	1	4	3	3	2	1
WAHLBACH	1	4	3	3	2	1

Les limites des intervalles de discrétisation sont fixées arbitrairement, de manière à regrouper les individus ayant des performances proches vis-à-vis du paramètre considéré. Cela a pour conséquence de mettre à l'écart 1 ou 2 individus présentant des valeurs s'écartant fortement des autres. Pour les MES une division en 2 variables qualitatives semble suffisante pour refléter les différents rendements observés.

Dépôts et rendements épuratoires : de 2 à 4 plages de valeurs ont été définis, en fonction de l'étendue que prenaient les valeurs de la variable. L'ordre des valeurs est respectée (à variables quantitatives croissante : variables qualitative croissante).

Le paramètre de fonctionnement hydraulique a été composé à partir des 4 colonnes VRAI/FAUX du tableau ci-dessus. Plus le fonctionnement hydraulique est mauvais, plus la variable qualitative est élevée.

ANNEXE II. Représentation graphique des résultats de l'AFCM



ANNEXE III. Synthèse des dysfonctionnements observés sur les stations

	Manspach	Eglingen Niederfeld	Eglingen Allmendgraben	Altenach - Maison de la Nature	Erckartswiller	Knoeringue	Magstatt le Haut	Allenwiller	Feldbach	Falkwiller	Liebsdorf	Lutter-Raedersdorf	Riespach	Wahlbach-Zaessingue
Données générales														
Date de la visite	13/04/2012	13/04/2012	13/04/2012	30/03/2012	03/05/2012	16/04/2012	12/04/2012	24/04/2012	27/04/2012	12/04/2012	27/04/2012	08/07/2012	05/04/2012	11/04/2012
Date de mise en service	juin-95	juin-95	juin-95	juin-96	juil-99	avr-05	avr-05	juin-05	nov-07	juin-09	août-09	sept-09	févr-10	sept-10
Maître d'œuvre	Sinbio (Muttersholtz, 67)	Sinbio (Muttersholtz, 67)	Sinbio (Muttersholtz, 67)	Sinbio (Muttersholtz, 67)	SDEA 67	Sinbio (Muttersholtz, 67)	Sinbio (Muttersholtz, 67)	SDEA 67	Sinbio (Muttersholtz, 67)	Sinbio (Muttersholtz, 67)	Emch + Berger (Hoenheim, 67)	E.V.I. (Romchamp, 70)	Sinbio (Muttersholtz, 67)	DDT Mulhouse (+ Groupement avec Atelier Reeb)
Nature du réseau	Pseudo-séparatif	Unitaire	Unitaire	Assainissement non collectif - séparatif	Pseudo-séparatif: 1/2 - 1/2	Pseudo-séparatif	Unitaire	Unitaire Q moyen = 500 m3/j et Q nom = 450 m3/j	Pseudo-séparatif	Pseudo-séparatif entrée d'ECP lors des périodes de nappe haute	Pseudo-séparatif (1/3 du village en séparatif), problème de dépôts tout le long de la filière	Unitaire	Unitaire	pseudo-séparatif
Nbre d'EH raccordés	env. 560 hab.	env. 190 hab.	env. 200 hab.	Population très variable : 10 personnes travaillent toute l'année et jusqu'à 70-80 visiteurs/jour en été	env. 300 résidences principales + 55 résidences secondaires		En octobre 2005: taux de collecte (fosses déconnectées) de 30 % et taux de raccordement de 50 %	1050 raccordés en 2012	470 habitants raccordés en 2012 avec env. 80% de fosses déconnectées	Population totale : 1204 habitants mais pas encore beaucoup de déconnexion de fosses sceptiques	340 habitants dont 38,9% de fosses déconnectées		700 habitants raccordés	Env. 700 habitants potentiellement raccordables, moins de la moitié a déconnecté sa fosse. Pour les autres, transit par la fosse = prétraitement maximum 300 habitants ont déconnecté leurs fosses
capacité STEU	560 EH	190 EH	200 EH	50 EH	500 EH	400 EH	300 EH	1100 EH	520 EH	1450 EH	350 EH	970 EH	900 EH	800 EH
Ouvrages et équipements														
By-pass dégrilleur								Pb sur le régulateur de débit en amont PR : colmatage du limiteur de débit (vore-tex)						
By-pass 1er étage													Niveau de déclenchement des pompes mal réglé: trop d'eau part au by-pass par temps de pluie; Fe départ du by-pass un peu trop bas? Pas impossible que le by pass fonctionne même par temps sec : juste avant le déclenchement de la pompe, lorsque le niveau d'eau est le plus haut;	
Fosse toutes eaux (DD)	Oui, curage tous les 3-4 ans	Oui, curage tous les 2-3 ans	Oui, curage tous les 2-3 ans	Fosse surdimensionnée, plus exactement une rue n'a jamais été raccordée à la STEU alors qu'elle avait été prévue dans le dimensionnement; Pas de vidange depuis minimum 6 ans;										
Dégrilleur	Bac de récupération des déchets trop petit; Exploitation					80 % du refus de dégrillage = lingettes		Pb : le vore-tex est situé en amont du dégrilleur, colmatage par les						Pb avec le dégrilleur automatique: il se colmate, provoquant un

	Manspach	Eglingen Niederfeld	Eglingen Allmendgraben	Altenach - Maison de la Nature	Erckartswiller	Knoeringue	Magstatt le Haut	Allenwiller	Feldbach	Falkwiller	Liebsdorf	Lutter-Raedersdorf	Riespach	Wahlbach-Zaessingue
	incomfortable;							lingettes;						départ vers le trop plein qui lui n'est pas muni de grille protectrice;
Poste de relevage	1 changement de pompes (PR 2 pompes) depuis la mise en service				Hydrocurage 1x/an; Les pompes cumulent 10 000 et 11 000h de fonctionnement sans remplacement; Pas de grille antichute sur le regard (2 m de diamètres);	Entretien dès qu'il y a un orage sur le réseau	Pas de grille antichute 1 bâchée toutes les 10-15 min (pluie importante le matin et la veille)	Curé 1-2x/an bagues d'usure des pompes changées tous les 3-4 ans					Mauvais réglage du poste de relevage : une part importante de l'effluent part au-by-pass lorsque le niveau dans le poste est haut (à cause d'un régulateur de débit qui se met en charge et donc évacue moins rapidement l'eau).	Filasse très importante dans les pompes : provenant des lingettes; Entretien dès qu'il y a un orage sur le réseau;
Vannes									1 vanne ne peut plus être ouverte entièrement (blocage sur les env. 2 derniers cm)	Pb sur vannes qui sont apparus dès la 1ère année; Pb avec les vannes: difficiles voir très difficiles à manipuler (création d'un outil spécifique!) : 6 vannes ont des problème;	Vannes pas très faciles à actionner		Difficultés d'actionnement des vannes, certaines vannes ne peuvent plus être actionnées sur la totalité de leur course	Absence d'échelle pour descendre dans le regard de vannage
Armoire électrique					Les câbles électriques ont été rongés par des rats : mise en place d'une mousse polyuréthane pour empêcher l'accès aux gaines (avec succès); Absence de protection des équipements sous tension;				Compteur d'impulsion grillé (lors de la 2ème année de fonctionnement): ne résiste pas au froid					Armoire mal placée : place perdue dans la cabane; Manque un chauffe-eau : utile pour laver les mains grasses; Le compresseur n'était pas surélevé: pas possible de le vidanger;
Canal de comptage Entrée	Oui mais très rudimentaire, lecture des hauteurs difficile													Venturi sous-dimensionné?
Canal de comptage Sortie	Oui mais très rudimentaire, lecture des hauteurs difficile													
Dépôts importants dans les ouvrages (regards et canaux de comptage)									oui	oui				
1er étage														
Fonctionnement	Le filtre reste en charge entre 2 bâchées (même si alternance entre 2 lits); Problème de court-circuit hydraulique, les eaux ne s'infiltrent plus dans le filtre mais ressortent par le trop plein du filtre; Le colmatage des filtres est apparue après que le site de la STEU soit inondé;	Colmatage; Pb d'odeur; Surcreusement de la surface du filtre à force de ratisser les boues;	Colmatage; Pb d'odeur sur toute la filière; Surcreusement de la surface du filtre à force de ratisser les boues; Pb de court circuit hydraulique: l'eau pourrait pénétrer par les drains cassés;	Le filtre est recouvert d'une couche de terre végétale (10cm) avec de l'herbe mais 0 roseau -> infiltration lente. Le système passe petit à petit d'une alimentation aérienne à une alimentation souterraine. Mais comme la DD n'a pas été vidangée depuis un long moment, il est possible que des plus gros déchets parviennent jusque dans les rampes d'alimentation. les	2 + 2 bassins auraient suffi, mais il a été choisit d'en faire 3 + 3 pour permettre de faire fonctionner normalement la station pendant des travaux		Pb de réglage des pompes: 1/2 lit est plus arrosé que l'autre	Mise en charge de la surface entre 2 bâchées Nette différence de fonctionnement entre périodes avec et sans roseaux	Présence de zones mortes	Présence de zones mortes	Au moins 1/3 de la surface du lit rest en zone morte; Alternance 7 jours / 7 jours;		Présence de zones mortes	Présence de zones mortes prévoir une intervention sur la STEU après chaque orage

	Manspach	Eglingen Niederfeld	Eglingen Allmendgraben	Altenach - Maison de la Nature	Erckartswiller	Knoeringue	Magstatt le Haut	Allenwiller	Feldbach	Falkwiller	Liebsdorf	Lutter-Raetersdorf	Riespach	Wahlbach-Zaessingue
				orifices n'étant pas de diamètre suffisant, ces déchets restent piégés dans la rampe. un arbre surplombe le filtre: diminue l'apport de lumière pour les roseaux et apporte une litière organique avec ses feuilles.										
Surface ennoyée entre 2 bâchées	Oui	Oui	Oui				Oui (visite par temps de pluie forte)	oui	oui					
Dispositif d'étanchéité						Pas de géomembranes, migration des roseaux sur les talus Talus trop raides		Prolifération de tout type de rongeurs : perforation des bâches. Mise en place d'une dératisation industrielle.	Géomembrane percée par des rongeurs: apports de terre végétale dans le filtre, risque de propagation des rhizomes					
Couche filtration			La diminution de la perméabilité de la couche de filtration est compensée par une diminution de la hauteur des granulats. Le surcreusement du lit déforme la rampes d'alimentation : répartition hétérogène sur le lit (mais compensé par la mise en charge du lit).						Couche de filtration trop grossière?					
Utilisation du trop plein	trop plein fonctionne tout les temps		trop plein fonctionne tout les temps					Les tuyaux s'arrêtent trop bas: risque de pénétration de l'effluent dans le réseau de drain: by-pass du 1er étage de traitement			trop plein un peu trop haut? Risque de débord par les berges			
Système d'alimentation: - Ouvrage - Rampes - Bouches/orifices d'alimentation	Gros flash dans les canalisations; Canalisations cassées par la pression de la pompes; Les gros déchets refoulés par la pompes obstruent les orifices ; Curage fréquent des rampes; Le diamètre des orifices de sortie ne doit pas être < à celui du tuyau de refoulement, sinon accumulation des déchets dans les rampes; Pompes très puissantes: ravinement au droit des orifices, avec variation de la hauteur des dépôts de 0 à 10 cm;			Ø rampes surdimensionné -> pas d'autocurage dans les rampes. Les rampes ne sont pas horizontales -> écoulement préférentiel par certains orifices. Ø trous : 2 cm. C'est trop gros, la vitesse de sortie est trop faible. Concourt au colmatage des orifices. Trop de points d'alimentation pour un filtre.	Très forte hétérogénéité dans l'épaisseur de la couche de dépôts: présence de "cônes de décantation".	Très forte hétérogénéité dans l'épaisseur de la couche de dépôts: présence de "cônes de décantation". Reste env. 10cm entre dépôts et sortie rampes					Rayon de 2,5 m utilisé pour l'infiltration mais dès qu'on gratte 5 cm sous la surface les granulats sont humides, même si en dehors du rayon de 2,5 m		Présence de "zones mortes" en surface : zones où l'eau ne vas jamais, pas de dépôts, même après 2 ans de fonctionnement (toutes les fosses ne sont pas deconnectées)	

	Manspach	Eglingen Niederfeld	Eglingen Allmendgraben	Altenach - Maison de la Nature	Erckartswiller	Knoeringue	Magstatt le Haut	Allenwiller	Feldbach	Falkwiller	Liebsdorf	Lutter-Raedersdorf	Riespach	Wahlbach-Zaessingue	
	Création de chemin d'écoulements préférentiels dans le filtres?														
Densité point d'alimentation															
Bâchée				<p>Système d'alimentation par bâchée HS (siphon auto-amorçant qui ne peut plus bouger): pb de flexibles qui se sont rigidifiés? Conséquence: alimentation au fil de l'eau, faible hydrodynamisme dans la rampe produit un dépôt dans la rampe. Les orifices se colmatent progressivement car le jet n'est pas assez puissant pour maintenir le passage libre. Seuls quelques trous par rampes restent opérationnels</p>	Flexibles de chasses s'usent rapidement (pb sur le flexible en réserve qui est trop fragile)		Changement fréquent du flexible de chasse				la bâchée dure plusieurs minutes			<p>Pb d'hydraulique: alimentation et vidange de la cuve par le même coté -> accumulation de dépôts fermentescibles de l'autre coté de la cuve. Toujours de l'eau dans la cuve car sortie trop haute</p>	
Réseau de drains	Problème de casse des drains et des chapeaux de cheminée lors du passage de la débroussailleuse; La cheminée coiffant le drain est progressivement prise dans la terre du talus;	Problème de casse des drains et des chapeaux de cheminée lors du passage de la débroussailleuse; La cheminée coiffant le drain est progressivement prise dans la terre du talus; Les abords du lit sont désherbés au chalumeau: le PVC fond;	Problème de casse des drains et des chapeaux de cheminée lors du passage de la débroussailleuse; La cheminée coiffant le drain est progressivement prise dans la terre du talus;					Contre-pente en fond de lit : accumulation de fines dans les drains (présence d'une zone saturée en fond de filtre)							
Extrémités à l'air libre	Réduction de l'apport d'air suite à l'installation de terre végétale contre une face du chapeau; Pénétration de terre et autres quand le drain est cassé;	Réduction de l'apport d'air suite à l'installation de terre végétale contre une face du chapeau; Pénétration de terre et autres quand le drain est cassé;	Réduction de l'apport d'air suite à l'installation de terre végétale contre une face du chapeau; Pénétration de terre et autres quand le drain est cassé; Pénétration d'eau dans le drain si l'eau atteint un certain niveau;	Les chapeaux de cheminée cassent											
Epaisseur dépôts	Env. 8 cm en moyenne				8-9 cm, sauf sous les points d'injection où s'est formé un cône de décantation; Dépôts de couleurs plus claires au fur et à mesure qu'on s'éloigne des points d'alimentation. L'humidité des dépôts augmente aussi considérablement vers les points bas;	Très forte hétérogénéité dans l'épaisseur de la couche de dépôts : l'alimentation aérienne produit surtout des dépôts au droits des bouches (plus de 20 cm) puis passé un rayon de 1 m env. on passe à 8 cm puis à 2 en bordure de filtres;	Env. 9 cm de dépôts	Env. 10 cm de dépôts	Env. 10 cm de boues dans un rayon de 1 à 1,50 m autour des bouches						
2ème étage															
Fonctionnement	Lit en charge sur					Le lit en	La surface du 2ème	Coûts			Lors de la mise en				

ANNEXES

	Manspach	Eglingen Niederfeld	Eglingen Allmendgraben	Altenach - Maison de la Nature	Erckartswiller	Knoeringue	Magstatt le Haut	Allenwiller	Feldbach	Falkwiller	Liebsdorf	Lutter-Raetersdorf	Riespach	Wahlbach-Zaessingue
	env. 20 cm au-dessus des granulats					fonctionnement est en charge (pluie importante lors de la visite)	étage reste en charge entre 2 bâchées. Lorsqu'on fait un trou dans la couche de dépôts, on n'observe pas de vidange plus rapide de la surface : perméabilité très faible même dans le haut des granulats.	d'exploitation: 6-7000 € (part commune) + 8000 (part SDEA)			service de la STEU: pellicule verte imperméable. Puis mise en repos du lit 3-4 semaines : disparition du problème. Station inondée en 2010;			
Surface ennoyée entre 2 bâchées	oui	oui	oui			oui (visite par temps de pluie forte)	oui	oui						
Couche filtration											importantes inégalités de niveau dans la couche de sable: - tassement par l'eau à proximité des points d'alimentation - déplacement du sable par l'eau? - terriers de rongeurs dans le lit : création de chemins d'écoulements préférentiels			
Utilisation trop plein			Trop plein fonctionne tout les temps								Pas de trop plein : risque de pénétration de l'effluent dans les drains si mise en charge trop importante		Pas de trop plein. En cas de trop plein, écoulement par les cheminées d'aération des drains.	Pas de trop plein
système d'alimentation: - Ouvrage - Rampes - Orifices d'aspersion		3ème étage: seuls les 2 premiers points d'alim semblent délivrer un débit.	Pb de colmatage du filtre: court circuit hydraulique; Boues + croûte cellulosique sur ce 2ème étage: apportées suite à court-circuit hydraulique 1er étage; En cas de court-circuit hydraulique du 1er étage, de gros déchets peuvent encore parvenir jusqu'au PR du 2ème étage. Ces déchets peuvent ensuite s'accumuler dans les rampes du 2ème s'ils sont plus gros que le Ø des trous;								Alimentation par "puits artésien" : gros tassement du sable à proximité des points d'alimentation		Dépôts de fines en extrémité de rampes	
Réseau de drains: Extrémités à l'air libre							Une moitié du chapeau de drain est enterré dans le talus: - diminution des échanges d'air - risque d'intrusion de rongeurs dans le réseau de drains							
Epaisseur dépôts						De 0 à 2 cm : surface ennoyée entre 2 bâchées par temps de pluie	Env. 4 cm de dépôts							
Entretien et Exploitation														
Nbre d'heures allouée à	3h/semaine		env. 10h / mois sauf	Rien depuis 2 ans	env. 55h /an		env. 10h/semaine		env. 150 h/an	env. 1 h / semaine	entretien variable :		2 passages par	faucardage : 2 jours

	Manspach	Eglingen Niederfeld	Eglingen Allmendgraben	Altenach - Maison de la Nature	Erckartswiller	Knoeringue	Magstatt le Haut	Allenwiller	Feldbach	Falkwiller	Liebsdorf	Lutter-Raedersdorf	Riespach	Wahlbach-Zaessingue
l'exploitation/l'entretien de la STEU/semaine			février-mars où h / mois (faucardage)	hormis tonte + faucardage + élagage. Désherbage + replantation: 1 journée de travail						pour vannage + visite rapide + notesenv. 100 €/an d'agent technique (env. 22/h) 2 matinées / an avec 12 personnes pour désherber	beaucoup de travail en temps de pluie = visite quotidienne (présence de feuilles qui obstruent) 2 passages / semaine + 1 h/semaine		semaine pour actionner les vannes1 passage au karcher des ouvrages 1 x / 2 mois1 semaine par an pour le faucardage des roseaux	/ an (rebus laissé en place);désherbage: 1/2 journée / 15 jour
Méthode employée pour le curage des lits:	Pelle avec bras long et chauffeur digne de confiance	Lorsque les boues sont ratissées chaque année, une partie des granulats est évacué. Au fil des ans l'épaisseur de la couche de granulats superficielle diminue. Ici on estime à env. 20cm de granulats qui ont été ratissés en 17 ans. L'avantage de cette méthode est de ralentir le phénomène de colmatage puisque l'épaisseur de matériaux fins diminue progressivement.	lorsque les boues sont ratissées, une partie des granulats est évacué. Au fil des ans l'épaisseur de la couche de granulats superficielle diminue. Ici on estime à env. 20cm de granulats qui ont été ratissés en 17 ans. L'avantage de cette méthode est de ralentir le phénomène de colmatage puisque l'épaisseur de matériaux fins diminue progressivement.						Curage à la mini-pelle de 800 kg					
Filière choisie pour la valorisation des boues	Epannage forestier Depuis 2011 les boues sont ratissées à la main puis mise à sécher/minéraliser sur les bords du lit	Les boues de curages sont mises sur une décharge communale	les boues de curages sont mises sur une décharge communale					Les boues seront criblées + broyées ou broyées + compostées						
Faucardage des roseaux : période de faucardage + devenir de roseaux	Roseaux brulés			Période de faucardage : automne/hiver; Les roseaux sont ensuite brulé/stockés en tas/broyés pour paillage;	Faucardage en octobre; Les roseaux sont laissés en tas pour compostage naturel;		Faucardage juste après la 1ère gelée: "pour éviter la redescende de l'azote dans le lit"	Faucardage au lamier depuis la berge, passage à la débroussailleuse pour le reste. Les roseaux sont mis en tas puis évacués par porte-grume	Coupés à l'automne, lorsqu'ils sont encore secs; Faucardage à la débroussailleuse (avec le fil); Les roseaux sont composté en centre de compostage;		Faucardage à la débroussailleuse en automne + ramassage directement après : mise en compostage		Roseaux envoyés en centre de compostage	Faucardage à l'automne. Les rebus de fauches sont laissées
Problème avec les roseaux		Colonisation des bords de la lagune et des berges par les roseaux.				Colonisation des talus par les roseaux, (étanchéité par marnes naturelles)	Colonisation des abords par les roseaux: coupes/tonte des roseaux	Entrée des rhizomes dans les drains : observation lors d'un passage caméra	Diminution de la densité des roseaux en direction du fond de filtre, reste seulement quelques roseaux sur les 5 derniers mètres du filtre; Jaunissement des roseaux en direction du fond de filtre;			Jaunissement très important des roseaux sur le 2ème étage		
Présence de mauvaises herbes	Les 2-3 premières années présence de mauvaise herbes puis les roseaux prennent le dessus pas de mauvaise herbe car les lits restent en charge			Oui	Présence d'ortie sur 2 des 3 lits du 2ème étage. Ces 2 lits sont complètement dépourvus de roseaux		Oui, désherbage 1x/an avant que les roseaux ne poussent		Les roseaux sont quasiment absents des 5 derniers mètres du 2ème étage, et ils jaunissent de manière croissante en allant vers le fond du filtre; Un désherbage en début de saison avant la levée des roseaux: 1 grosse opération par an;	Oui	Oui, présence encore maintenant	Oui, mais roseaux largement dominants	Oui	Oui; La mauvaise herbe serait amenée par la terre autour des plants de roseaux;
Dates de curages	2006/2007	1x / an	1x / an	Pas de curage hormis l'année où la terre végétale a été										

	Manspach	Eglingen Niederfeld	Eglingen Allmendgraben	Altenach - Maison de la Nature	Erckartswiller	Knoeringue	Magstatt le Haut	Allenwiller	Feldbach	Falkwiller	Liebsdorf	Lutter-Raedersdorf	Riespach	Wahlbach-Zaessingue
L'organisation de la stations a-t-elle un lien avec la fréquence des différentes manipulations à faire?	Non	Non	Non	Non	Non		Non	Non	Non	Non	Non		Non	Non
Viellissement														
Réaction de la STEU des équipements au froid ?	Lors de gros froid (-15°C) le 1er étage gèle : by-pass vers le 2ème étage	En cas de grand froid, l'eau va au trop plein de la STEU: by-pass général si alimentation du 1er est gelée.	En cas de grand froid, l'eau va au trop plein de la STEU: by-pass général si alimentation du 1er est gelée.				1 lit laissée alimenté en continue par période de grand froid		Casse des écrans à cristaux liquides; Pb de manipulation des vannes					Gel de l'eau dans 1 à 3 tubes inox mais les autres sont restés opérationnelles
Problème d'odeurs ?		Odeurs sur 1er et 3ème étages lorsqu'ils sont en charges, et surtout en été. L'odeur n'est percevable qu'aux abords immédiats de la STEU.	Odeurs sur les 2 étages lors de la visite. L'odeur n'est percevable qu'aux abords immédiats de la STEU.	Oui quand changement de pression atmosphérique				Arrivée de graisses (Plusieurs restaurants dans le village) plus difficilement biodégradable et donc sources d'odeurs			Plantation d'une haie autour de la STEU pour contrer la propagation des odeurs (STEU à env. 100m des premières habitations)			Oui, provoqué par dépôts dans cuve d'alimentation du 1er étage?
Les communes serait-elles intéressé par un contact d'exploitation	Voir après travaux de réhabilitation	Non	Non	Non	L'exploitation de la station de fait sur la base du bénévolat d'un adjoint.	Non	Non, 1 empl à mi-temps a été créé pour s'occuper de la station	Exploitation journalière = Communauté de Communes Contrat du SDEA avec entreprise privée pour curage des boues	Non	Non, exploitation par le maire lui-même	Fonctionnement de la STEU sur la base du bénévolat (suivi par 2 adjoints)		Non	Non
Les communes serit-elles intéressée par un "service d'assistance" (grosso modo 1 à 2 interventions par an) avec délai d'intervention rapide	"plus envisageable"	Oui pour un contrat de maintenance des pompes + remise en état des postes de refoulement + contrat à l'année pour la vidanges des fosses sceptiques	Oui pour un contrat de maintenance des pompes + remise en état des postes de refoulement + contrat à l'année pour la vidanges des fosses sceptiques	Voir avec la communauté de communes de Dannemarie. La station n'a pas eu de contrôles depuis 6 ans.	Fait par le SDEA		La commune dispose déjà d'une intervention tous les 6 mois.	Analyse de l'eau + suivi électromécanique + télégestion + Rédaction rapport annuel + transmission à l'AERM = SDEA	Oui si possibilité de pouvoir faire changer les pompes	Le syndicat dispose déjà d'un contrat d'assistance avec Veolia (pour env. 2900 €/an si toutes les interventions sont réalisées, mais avec intervention seulement sur demande). Le contrat comprend le passage d'une hydrocureuse + 1 visite 1 mois/3 + entretien du matériel électromécanique. Le délai max d'intervention est 48h				Contrat pour l'entretien des pompes
Rongeurs								Prolifération de tout type de rongeurs : perforation des bâches	Présence de rongeurs qui semblent creuser leur galerie juste au-dessus du géotextile : de la terre tombe dans le lit					
Opérations/travaux post construction														
Si la STEU était à nouveau à concevoir que faudrait-il changer/ajouter?	Traitement des micro-polluants revoir la conception du dégrilleur	Mise en place d'un regard de tranquillisation à l'amont du décanteur-digesteur	Mise en place d'un regard de tranquillisation à l'amont du décanteur-digesteur	Brancher la rue du village ou revoir le dimensionnement de la STEU: la STEU est largement surdimensionnée.	Pb de place autour des lits: les engins ne peuvent pas circuler. Mise en place d'un dispositif pour pouvoir mettre occasionnellement le 2ème étage en charge		Panier du dégrilleur trop lourd pour remontée manuelle		Ajout d'une cabane de jardin; Pb de pression dans le réseau d'eau potable pour le nettoyage de ouvrages; Création d'un chemin d'accès entre les bassins du &et étage pour faciliter l'évacuation des roseaux faucardés +		Réduire la zone en grillagée; Mettre le coffret EDF à l'extérieur de la propriété;			

	Manspach	Eglingen Niederfeld	Eglingen Allmendgraben	Altenach - Maison de la Nature	Erckartswiller	Knoeringue	Magstatt le Haut	Allenwiller	Feldbach	Falkwiller	Liebsdorf	Lutter-Raedersdorf	Riespach	Wahlbach-Zaessingue
									des boues lors du curage;					
Y-a-t-il eu des interventions ultérieures sur la STEU : agrandissement, réhabilitation, modifications régime des pompes/vannes, ajout d'unité de traitement ?							Légère modification faites par l'employé communal concernant le terrassement des abords des lits.				Couvercle fonte du régulateur de débit changé car trop lourd à manipuler			Intervention CERIA; Isolation du cabanon bois;
La commune envisage-t-elle des interventions sur la STEU?	La commune a acheté une parcelle voisine à la STEU en vue de faire une grosse opération de réhabilitations. La commune provisionne depuis 2 ans en vue de l'opération. Je ne sais pas si un BE a déjà été mandaté sur l'opération,	Oui. La commune cherche pour l'instant un BE pour lui faire une étude. Suite à cela, demande de subventions à l'agence de l'eau.	Oui. La commune cherche pour l'instant un BE pour lui faire une étude. Suite à cela, demande de subventions à l'agence de l'eau.					Achat de terrain pour implantation d'un 3ème étage						Installation d'une télésurveillance; Installation d'un chauffe-eau;