



Agence de l'eau
Rhin-Meuse

26741 RM

SPENLE Laurent
Elève ingénieur de 3^{ème} année

Juin 2000

Projet de Fin d'Etudes

**LES STATIONS D'EPURATION SUR
LITS PLANTES DE MACROPHYTES :
ETUDE DE FONCTIONNEMENT.**

**CAS DES INSTALLATIONS DE
SCHOENAU**

envair

Ecole Nationale Supérieure des Arts et Industries de Strasbourg
Filière Génie Civil

RESUME

Construites depuis le début des années 1990 pour le traitement des eaux usées domestiques, les stations d'épuration sur lits plantés de macrophytes ont suscité une attention croissante durant ces dernières années.

L'objectif de l'étude est d'avoir, par le biais du suivi de la station de Schoenau, des résultats de proximité permettant de pouvoir juger de la validité du procédé, pour répondre par la suite aux demandes des collectivités.

Actuellement, après cinq mois de fonctionnement, cette installation ne donne pas encore satisfaction, tant au point de vue des performances épuratoires que du fonctionnement hydraulique des lits plantés. Néanmoins, il faudra encore attendre quelques mois avant de tirer des conclusions définitives, le temps que la station soit à sa pleine capacité de traitement.

SUMMARY

Constructed since the beginning of the 90's for the treatment of urban wastewater, constructed wetlands have received increasing attention in recent years.

The aim of this project is to find, using the surveillance of the Schoenau's wetland, closer results to be able to judge the convenience of the process in order to answer the community's requests.

Currently, after five months of operation, neither the removal results nor the hydraulic behaviour of the reed beds have reached the waited expectations. Nevertheless, it is necessary to still wait a few months before definitely conclude the study, so that the center achieves its full treatment capacity.

SOMMAIRE

PARTIE 1 : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

1. Présentation de la filière filtres plantés de macrophytes	4
1.1 Intérêt de l'épuration des eaux usées domestiques	4
1.2 Comment traiter les eaux usées domestiques ?	5
1.3 Intérêt de la filière	6
1.4 Description des différents modèles de filtres	7
1.4.1 Filtres à écoulement horizontal	7
1.4.2 Filtres à écoulement vertical	8
1.5 Description des différents procédés	9
1.5.1 Le procédé SEIDEL	9
1.5.2 Le procédé KICKUTH	10
1.6 Evolution et recensement des installations	11
2. Les phénomènes épuratoires	12
2.1 Les Matières en Suspension (MES)	12
2.1.1 Généralités	12
2.1.2 Traitement	12
2.1.3 Problèmes rencontrés	12
2.2 Les matières organiques	13
2.3 L'azote (N)	14
2.3.1 Généralités	14
2.3.2 Minéralisation des formes organiques de l'azote	14
2.3.3 Nitrification	15
2.3.4 Dénitrification	15
2.3.5 Problèmes rencontrés	16
2.4 Le phosphore (P)	17
2.4.1 Généralités	17
2.4.2 Traitement	17
2.5 Les germes pathogènes	19
3. Problématique	20
3.1 Fiabilité	20
3.1.1 Perméabilité	20
3.1.2 Temps de transfert	20
3.1.3 Colmatage de surface	21
3.1.4 Aération du substrat	21
3.1.5 Rendements épuratoires	22

3.2 Influence des différents paramètres sur l'épuration	23
3.2.1 Temps de transfert	23
3.2.2 Résistance du système	23
3.2.3 Rôle des roseaux	24
3.2.4 Fonctionnement hivernal	24
3.2.5 Mode d'écoulement à l'intérieur des lits	25
3.2.6 Mode d'alimentation des lits	26
3.2.7 Conditions climatiques	26
3.2.8 Lessivage et faucardage	26
3.2.9 Décanteur primaire	26
3.2.10 Hauteur d'eau dans les bassins	27

PARTIE 2 : LA STATION D'EPURATION DE SCHOENAU

1. Présentation des installations de Schoenau	30
1.1 Rôle de l'installation	30
1.2 Fonctionnement général de la station	30
1.3 Description et fonction des différents ouvrages	33
1.3.1 Le décanteur	33
1.3.2 Les lits filtrants	34
1.3.2.1 Lits filtrants à écoulement horizontal	34
1.3.2.2 Deuxième étage	34
1.3.2.3 Bassin de minéralisation	35
1.4 Pilotage et réglage	36
1.4.1 Regards de répartition S1-S4	36
1.4.2 Regards de collecte des lits horizontaux S5-S7	36
1.4.3 Regards de collecte et de répartition entre les deux étages S8	36
1.4.4 Regard de collecte et de répartition S9	37
1.4.5 Regard de collecte S10	37
1.5 Une autre station de ce type : la station d'Erckartswiller	38
2. Suivi de la station de Schoenau	40
2.1 Objectifs de l'étude	40
2.2 Paramètres suivis	41
2.3 Autres observations	42
3. Protocole de l'étude	43
3.1 Instrumentation	43
3.1.1 Mesures de débit	43
3.1.2 Prélèvements et transport	44
3.2 Porosité	45
3.2.1 Mesures directes	45
3.2.2 Mesure de la masse volumique apparente	45
3.2.2.1 Mesures in-situ	45

3.2.2.2 Mesures au laboratoire	46
3.2.3 Mesure de la masse volumique réelle	47
3.2.4 Conclusion	47
3.3 Temps de transfert	48
3.3.1 Méthode de traçage	48
3.3.2 Les traceurs	48
3.3.2.1 Qualités exigées	48
3.3.2.2 Les différentes sortes de traceurs utilisés en hydrologie et hydrogéologie	49
3.3.2.3 Les traceurs retenus	50
3.3.3 Le traçage au chlorure de sodium	51
3.3.3.1 Généralités	51
3.3.3.2 Méthode d'injection	51
3.3.3.3 Concentrations	51
3.3.3.4 Calculs théoriques	52
3.3.3.5 Exploitation des mesures	54
3.4 Evapotranspiration	55
3.4.1 Généralités sur l'évapotranspiration	55
3.4.2 Estimation de l'évapotranspiration potentielle	55
3.4.2.1 Formules résultant de bilan énergétique	55
3.4.2.2 Formules résultant d'ajustement statistique	56
3.4.3 Mesure de l'évapotranspiration potentielle	57
3.4.4 Synthèse	58
3.4.5 Mesure de l'évaporation	58
3.4.5.1 Les méthodes directes	58
3.4.5.2 Les méthodes empiriques	59
3.4.5.3 Les méthodes analytiques	60
3.4.5.4 Conclusion	60
3.4.6 Protocole mis en œuvre	60
3.5 Perméabilité	61
3.5.1 Mesure en laboratoire	61
3.5.1.1 Réalisation de carottes intactes	61
3.5.1.2 Echantillon reconstitué	61
3.5.2 Essais in-situ	62
3.5.2.1 Le Perméafor	62
3.5.2.2 Essai Lefranc	63
3.5.2.3 Perméabilité globale	64
3.6 Développement des racines et rhizomes	65
3.6.1 Intensité de l'émergence	65
3.6.2 Pilote expérimental	65
3.6.3 Tube d'osculatation	66
3.6.4 Conclusion	66
3.7 Ligne piézométrique	67
3.7.1 Généralités	67
3.7.2 Instrumentation	67
3.8 Paramètres divers	68

4. Analyse du fonctionnement de l'installation **70**

4.1 Contraintes amont	70
4.1.1 Caractéristiques des eaux usées	70
4.1.2 Charge hydraulique	70
4.1.3 Charges polluantes des effluents bruts	71
4.2 Contraintes aval	72
4.2.1 Rappel de la réglementation	72
4.2.2 Principales caractéristiques du milieu récepteur	73
4.2.3 Les boues	73
4.2.4 Autres aspects relatifs à l'environnement	73
4.3 Observations sur le fonctionnement	74
4.3.1 Le décanteur	74
4.3.2 Les lits filtrants	75
4.3.2.1 Les lits du 1 ^{er} étage	75
4.3.2.2 Les lits du 2 ^{ème} étage	76
4.3.3 Synthèse du comportement hydraulique des lits	78
4.3.4 Les lits de minéralisation	79
4.4 Analyse du mode d'exploitation	80
4.4.1 Exploitation actuelle de la station	80
4.4.2 Améliorations possibles	80
4.5 Débits	82
4.5.1 Courbes entrée-sortie	82
4.5.2 Bilan hydrique des installations	83
4.6 Flux traités	84
4.6.1 Charges polluantes	84
4.6.2 Caractérisation de l'effluent	85

5. Résultats du suivi **86**

5.1 Granulométrie du médium filtrant	86
5.1.1 Résultats	86
5.1.2 Gravier	87
5.1.3 Sols argileux	88
5.1.4 Sols sableux	89
5.2 Comportement de la végétation	91
5.3 Porosité	93
5.4 Perméabilité	94
5.4.1 Lits à écoulement horizontal	94
5.4.2 Lits à écoulement vertical	94
5.5 Temps de séjour	95
5.5.1 Mise en œuvre de la manipulation	95
5.5.2 Résultat	96
5.5.3 Interprétation des résultats	96
5.5.4 Bilan massique de l'opération	98
5.6 Caractérisation de l'effluent	98
5.6.1 Problème	98
5.6.2 Mesures et conclusions	98

5.7 Biomasse épuratrice	99
5.8 Lignes piézométriques et hauteur des substrats	99

6. Analyse des performances du traitement **100**

6.1 Matières en Suspension (MES)	100
6.2 Demande Biochimique en Oxygène sur 5 jours (DBO ₅)	102
6.3 Demande Chimique en Oxygène (DCO)	104
6.4 Azote	106
6.5 Phosphore	108
6.6 Qualité bactériologique	110
6.7 Autres paramètres	110
6.7.1 Conductivité	110
6.7.2 pH	110
6.7.3 Titre Alcalimétrique Complet (TAC)	111
6.8 Lits de minéralisation	111
6.8.1 Boues d'alimentation	111
6.8.2 Boues stockées	112
6.8.3 Percolats	113
6.9 Premiers résultats de mai	113
6.10 Conclusion	115

7. Analyse technico-économique du coût de construction **116**

7.1 Réalisation de la station de Schoenau	116
7.1.1 Appel d'offre	116
7.1.2 Réalisation du chantier	117
7.2 Etude financière de l'opération	118
7.2.1 Contenu du marché	118
7.2.2 Prix de revient global de la station	118
7.2.3 Prix de revient par ouvrage	119
7.2.4 Prix de revient par poste	121
7.2.5 Prix de revient pour un lit	123
7.2.6 Ratios	124
7.2.7 Conclusion	124

Conclusion **125**

Bibliographie **126**

INTRODUCTION

L'épuration des eaux usées, nécessité reconnue de tous, doit actuellement franchir une étape importante en étant l'objet d'une rigueur accrue du fait de la récente réglementation française. Si pour les grandes collectivités, le premier équipement en station d'épuration est dans la plupart des cas réalisé, ce n'est pas nécessairement le cas de nombreux villages. Or, ces petites collectivités ont des contraintes techniques et financières qui ne leur permettent pas d'adopter un système d'épuration classique. C'est pourquoi on a vu apparaître sur le marché des systèmes d'épuration rustique, techniques alternatives aux procédés artificiels, tel que le lagunage, l'épandage ou encore les filtres plantés de macrophytes.

L'assainissement par lits plantés de macrophytes a été étudié à partir de 1946 par la botaniste allemande K. SEIDEL qui avait observé que les *Scriptes* pouvaient absorber et métaboliser aussi bien les sels minéraux que les substances organiques et les substances toxiques plus difficilement dégradables comme les phénols. Ses travaux ont été repris par la suite par d'autres chercheurs, tel que le professeur R. KICKUTH, et la première station a été expérimentée en 1974 à Othfresen. Depuis, de nombreux sites ont vu le jour. C'est ainsi qu'en France, une soixantaine de stations traitant des eaux usées domestiques reposent désormais sur le principe des filtres plantés de macrophytes.

D'apparence simple, le fonctionnement de ces filtres plantés fait intervenir des réactions épuratoires pouvant être très complexes, bien que le principe de base reste d'infiltrer un effluent brut à travers des lits composés d'un mélange sable/gravier ou de sol en place et plantés de macrophytes. C'est pourquoi, devant le développement de cette filière d'épuration et la complexité des processus mis en jeu, de nombreux acteurs désirent avoir à leur disposition des informations plus complètes sur ce processus.

L'objectif de cette étude est donc, après avoir réalisé une étude bibliographique sur le fonctionnement de ces filtres, de juger de la validité du procédé par le biais du suivi d'une station d'épuration récemment construite pour une capacité de traitement de 3000 EH, la station de Schoenau.

La première partie de l'étude s'attache donc à revoir les aspects généraux et fondamentaux du fonctionnement des filtres plantés de macrophytes.

Tout d'abord, après une rapide présentation de l'intérêt de l'épuration des eaux usées domestiques et de la filière, les différents modèles de filtres sont abordés, en différenciant les filtres à écoulement horizontal et les filtres à écoulement vertical, avant de passer à l'exposé des procédés SEIDEL et KICKUTH.

Ensuite, les phénomènes épuratoires mis en jeu pour la rétention ou l'élimination des principaux éléments polluants sont étudiés.

Finalement, une synthèse de la problématique qui découle des expériences antérieures sur des sites en grandeur réelle et des incertitudes sur le fonctionnement théorique est réalisée.

La deuxième partie est, quant à elle, consacrée à l'étude de la station d'épuration de Schoenau, qui est la première station de ce type à avoir une capacité de traitement aussi importante.

Après la description du fonctionnement général de la station et des différentes unités de traitement, le suivi mis en place à partir de début mars pour répondre aux objectifs fixés, qui sont de mieux comprendre et d'optimiser le fonctionnement des lits plantés, est développé.

Dans un troisième chapitre, le choix des protocoles expérimentaux permettant d'apprécier l'évolution des différents paramètres jugés utiles de suivre y est justifié.

Ensuite, les trois sections suivantes sont consacrées respectivement à l'analyse du fonctionnement de l'installation, à l'analyse des résultats du suivi et à l'analyse des rendements épuratoires.

Finalement, une étude technico-économique de la construction de la station de Schoenau conclura le rapport.

CONCLUSION

L'épuration par lits plantés de macrophytes est un procédé rustique, qui peut répondre à l'attente des petites collectivités en matière de traitement des effluents domestiques. Cependant, l'étude des différents paramètres influençant la qualité de l'épuration montre à quel point des zones d'ombres subsistent encore. Le suivi de la station d'épuration de Schoenau doit donc permettre d'apporter des éléments de réponses afin de mieux comprendre le fonctionnement des filtres et d'en optimiser l'exploitation.

Au vu des résultats et du comportement actuel des filtres plantés, le fonctionnement actuel des installations ne donne pas encore entièrement satisfaction. Ceci est compréhensible du fait de la jeunesse de la station, qui est actuellement en pleine phase de développement. Aussi, il faut se garder d'arrêter un jugement définitif sur la validité du procédé, mais on peut toutefois faire quelques observations sur le comportement de la station en phase de démarrage.

Ce qui est le plus inquiétant actuellement est le fonctionnement hydraulique de la station. Les lits sont constamment recouverts d'une lame d'eau qui ne permet pas de maintenir les conditions aérobies au sein des bassins, ce qui se ressent sur les rendements épuratoires. Mais, outre ces abattements moyens, c'est le risque de colmatage définitif des lits qui est préoccupant.

Concernant l'élimination des éléments polluants, la station d'épuration de Schoenau, en phase de démarrage, ne répond donc pas encore aux critères fixés, tout en donnant des résultats encourageants après cinq mois de fonctionnement.

Après trois mois de suivi, cette étude ne permet donc certes pas encore de tirer des conclusions pertinentes sur l'influence même des paramètres sur l'épuration, mais permet déjà de dégager certaines idées sur une amélioration possible du mode d'exploitation.

En effet, pour le premier étage, la solution serait d'alterner l'alimentation des bassins afin de favoriser l'aération du substrat en leur permettant ainsi de se vider.

Pour le second étage, l'augmentation du volume de la fosse de relevage alimentant ce dernier permettrait de recouvrir complètement chaque lit lors de chaque bâchée. Cela aurait pour conséquence d'intéresser la totalité du médium et de favoriser la diffusion de l'oxygène par convection.

La poursuite de cette étude, et tout particulièrement de la station d'épuration de Schoenau, serait donc intéressante, afin de voir comment elle va se comporter dans le futur, et par de là, répondre aux questions qui restent encore en suspens.