

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ULTRAFILTRATION DE LISIER DE PORC

RAPHAËL FUGÈRE

DÉPARTEMENT DES GÉNIES CIVIL, GÉOLOGIQUE ET DES MINES
ÉCOLE POLYTECHNIQUE MONTRÉAL

MÉMOIRE PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION
DU DIPLOME DE MAÎTRISE ÈS SCIENCES APPLIQUÉES
(GÉNIE CIVIL)
JUN 2002



National Library
of Canada

Bibliothèque nationale
du Canada

Acquisitions and
Bibliographic Services

Acquisitions et
services bibliographiques

395 Wellington Street
Ottawa ON K1A 0N4
Canada

395, rue Wellington
Ottawa ON K1A 0N4
Canada

Your file Votre référence

ISBN: 0-612-89200-X

Our file Notre référence

ISBN: 0-612-89200-X

The author has granted a non-exclusive licence allowing the National Library of Canada to reproduce, loan, distribute or sell copies of this thesis in microform, paper or electronic formats.

L'auteur a accordé une licence non exclusive permettant à la Bibliothèque nationale du Canada de reproduire, prêter, distribuer ou vendre des copies de cette thèse sous la forme de microfiche/film, de reproduction sur papier ou sur format électronique.

The author retains ownership of the copyright in this thesis. Neither the thesis nor substantial extracts from it may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

L'auteur conserve la propriété du droit d'auteur qui protège cette thèse. Ni la thèse ni des extraits substantiels de celle-ci ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

In compliance with the Canadian Privacy Act some supporting forms may have been removed from this dissertation.

Conformément à la loi canadienne sur la protection de la vie privée, quelques formulaires secondaires ont été enlevés de ce manuscrit.

While these forms may be included in the document page count, their removal does not represent any loss of content from the dissertation.

Bien que ces formulaires aient inclus dans la pagination, il n'y aura aucun contenu manquant.

Canada

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

Ce mémoire intitulé :

ULTRAFILTRATION DE LISIER DE PORC

présenté par : FUGÈRE Raphaël

en vue de l'obtention du diplôme de : Maîtrise ès sciences appliquées

a été dûment accepté par le jury d'examen constitué de :

M. LEGROS Robert, Ph.D., président

M. COMEAU Yves, Ph.D., membre et directeur de recherche

M. MAMERI Nabil, Ph.D., membre et codirecteur de recherche

M. GALLOT Jean-Émile, Ph.D., membre

REMERCIEMENTS

Je remercie tout d'abord mon directeur de recherche Yves Comeau, ainsi que mon codirecteur Nabil Mameri pour la confiance qu'ils m'ont accordée, et pour les conseils et le support qu'ils m'ont prodigués tout au long du projet.

Je tiens à remercier Envirogain pour leur support financier et logistique ; sans eux, ce projet n'aurait jamais vu le jour.

Je remercie Marcel Dugal et spécialement Denis Bouchard pour leur aide inconditionnelle au niveau analytique (au niveau des analyses et de la logistique) tout au long de l'expérimentation.

Je tiens finalement à remercier Mireille Albert, Claudine Boisson et Krist Gernaey pour leur stimulante camaraderie.

RÉSUMÉ

Le phosphore est le principal élément à contrôler pour prévenir l'eutrophisation des cours d'eau. C'est pourquoi il importe d'en limiter les rejets dans les cours d'eau, surtout pour les industries qui en rejettent les plus grandes quantités. L'industrie porcine, de grande importance économique au Québec, doit faire face à l'augmentation des volumes de lisier à traiter ou épandre. Ces lisiers contiennent des concentrations importantes de phosphore et de micro-organismes pathogènes. Il existe plusieurs types de traitement pour réduire ces concentrations de contaminants : les procédés biologiques, thermiques, chimiques et les procédés physiques. Les procédés biologiques de traitement du lisier étant plus complexes à opérer pour les petites installations bénéficiant de peu de personnel spécialisé, le traitement du lisier par procédés physico-chimiques uniquement a été retenu.

Cette étude a visé à circonscrire la place que pourraient prendre les procédés membranaires dans le traitement du lisier de porc. C'est ainsi que les performances de l'ultrafiltration seule (UF), de l'ultrafiltration modifiée (EUF), ainsi que d'un couplage de l'UF avec un procédé électrochimique (ÉE) ont été déterminées. Ces divers procédés ont d'abord été calibrés avec un effluent synthétique, puis testés sur plusieurs types de lisiers : biotraité, surnageant de fosse d'entreposage et dégrillé (lisier tamisé).

Tout d'abord, les paramètres d'opération optimaux ont été déterminés pour les différents procédés, puis leur efficacité pour l'enlèvement du phosphore soluble et particulaire a été testée, tout comme pour les organismes pathogènes. L'optimisation a été réalisée avec l'aide d'un modèle économique qui permet d'évaluer le coût d'opération d'une cellule d'ultrafiltration dans différentes conditions. L'objectif principal de traitement était la réduction des concentrations en phosphore soluble en deçà de 1 mg P/L, ainsi que l'hygiénisation de l'effluent.

L'optimisation de l'UF a permis de fixer les conditions d'opération optimales pour les différents types de lisiers. De façon typique, la pression d'opération optimale était d'environ 100 kPa, alors que la vitesse de recirculation dans la membrane était d'environ 2 m/s. Il a été noté que les coûts d'opération variaient de façon importante selon l'effluent

traité ; ainsi le coût du traitement du surnageant de fosse est de 2 à 4\$US/m³, le lisier tamisé de 1,2 à 3,5\$US/m³, l'effluent du Filtramat de 2,4 à 8,0 \$US/m³ et le FLR de 0,5 à 1,5 \$US/m³. Les facteurs de concentration volumique typiquement atteints lors de la détermination de ces coûts d'opération étaient d'environ 2,5 pour le surnageant de fosse, 3,3 pour le lisier tamisé, 1,7 pour le Filtramat et environ 6,5 pour le FLR. Tout au long de l'expérimentation, il a été observé que les flux membranaires solvant (flux membranaires obtenus en ne traitant que de l'eau du robinet) se maintenaient dans le temps, un excellent indice du bon état de la membrane.

L'ultrafiltration seule s'est révélée inefficace pour l'enlèvement du phosphore soluble, en plus de présenter des flux membranaires faibles. Sachant cela, l'UF a été modifiée à l'aide d'électrodes insérées dans la membrane (EUF 1). Ces électrodes devaient permettre d'augmenter la vitesse linéaire dans la membrane, en plus de coaguler le phosphore grâce à la solubilisation de l'anode. Les électrodes devaient obstruer environ 60 % de la section d'écoulement. Toutefois, il a été rapidement observé que l'insertion d'électrodes créait une perte de charge importante qui venait faire grimper le coût de traitement. Ce phénomène a pris encore plus d'ampleur lorsqu'un colmatage de l'espace entre les électrodes est survenu. Il a été évalué qu'à ce moment, environ 90 % de la section d'écoulement était obstruée. Pour ce qui est de l'enlèvement du phosphore soluble, il a été noté que le temps nécessaire pour atteindre une concentration de 1 mg P/L était prohibitif : de l'ordre de 4-5 h de traitement. Ceci renseigne sur le fait que le courant utilisé était trop faible, tout comme la surface d'électrode. Le temps nécessaire pour traiter un volume de 40 L était d'environ 24 h, il est difficilement concevable d'attendre 4 ou 5 h avant de commencer la concentration du lisier. L'insertion d'électrodes a semblé encore plus néfaste lorsqu'il a été noté que les performances membranaires n'étaient pas significativement modifiées, et que les flux membranaires solvant périllicitaient en absence de lavage mécanique (passage d'une bille de mousse à l'intérieur de la membrane). L'optimisation de l'EUF 1 n'a pas pu être effectuée étant donné qu'il nous manquait une donnée cruciale : le débit de recirculation.

Afin de résoudre une partie des problèmes rencontrés lors de l'EUF 1, l'EUF 2 a été mise en place avec une électrode centrale plus petite, et entièrement en acier inoxydable. La cathode devait produire des micro-bulles de gaz issues de l'électrolyse de l'eau, alors que les deux électrodes devaient servir à réduire la section d'écoulement. Le tout n'a pas eu l'effet escompté : les volumes de gaz produits étaient insuffisants, et se concentraient probablement dans le centre de la section d'écoulement, qui présente des vitesses linéaires supérieures. Les pertes de charge ont fait augmenter les coûts de traitement, sans qu'une augmentation des flux membranaires vienne contrebalancer cet effet. Comme dans le cas de l'EUF 1, une diminution des flux membranaires solvant en fonction du temps a été observée, signe d'un endommagement graduel de la membrane. L'EUF 2 a toutefois présenté des caractéristiques différentes de l'UF au niveau des paramètres d'opération optimaux : de façon typique, le procédé était optimal à 1,5 m/s et à 200 kPa. Les facteurs de concentration volumique atteints étaient similaires à ceux de l'UF, alors que les coûts de traitement étaient un peu supérieurs. À la lumière de ces informations, il a été décidé d'abandonner le développement de l'EUF.

Le couplage entre l'UF et un réacteur électro-chimique (ÉE) a été testé dans les deux sens (séquence ÉE-UF et séquence UF-ÉE). Il a été alors noté que lorsque l'UF était en fin de traitement, une certaine solubilisation de phosphore était notée avec environ 4 mg P/L comme concentration constante dans le temps. Toutefois, lorsque l'UF était en tête de traitement, les concentrations en phosphore dans l'effluent de l'électro-épuration étaient inférieures à 1 mg P/L. Ceci porte à croire que la séquence UF-ÉE est préférable pour l'enlèvement des matières en suspension (MES), de la DCO particulaire, du phosphore et des micro-organismes pathogènes. L'efficacité de l'UF à enlever les micro-organismes pathogènes a été testée, pour la détermination des coliformes dont l'enlèvement a été de 99,99 %.

Nous pouvons conclure que les performances obtenues en UF de lisier de porc, plus particulièrement les flux membranaires, se situent dans la gamme inférieure des flux habituellement mesurés dans les installations industrielles. L'automatisation de l'opération et des lavages sera l'aspect majeur qui déterminera le succès ou non des procédés

membranaires dans le futur. Avec un système complètement automatisé, il serait possible d'installer des procédés d'UF-ÉE pour l'enlèvement des matières en suspension, coliformes et phosphore dans des petites et moyennes fermes.

ABSTRACT

Phosphorus is a key element in controlling the eutrophication of waterways. This explains the importance of limiting its discharge in the environment, especially for industries producing large volumes of sludges with high concentrations of phosphorus. The pig farming industry, which is of great economical importance to Québec, faces increasing volumes of manure with limited options for dispersal, such as spreading on fields. Typically, this manure contains high concentrations of phosphorus and pathogen micro-organisms, like coliforms. When not spread on fields, the manure can be treated biologically, by thermic treatment or by physical or chemical means. Because biological processes are usually sensitive and unstable, and small pig farms don't have specialized personnel, we think a physico-chemical method is more suitable for those installations.

In this study, it was tried to effectively use membranes into manure treatment. The performance of ultrafiltration (UF), electro-ultrafiltration (EUF), an enhanced ultrafiltration method, and coupled ultrafiltration with a separate electrocoagulation process (EE) were tested. All these processes were calibrated with tap water and then tested with real effluents: bio treated (FLR), the supernatant of effluent storage tanks and 1 mm pre-filtered manure.

The optimal operation parameters have been assessed for all processes, and the efficiencies at removing soluble phosphorus and pathogens determined. The optimisation phase was conducted following a method which allowed the calculation the operating costs of the ultrafiltration based on numerous factors. The project was focused towards reducing the soluble phosphorus concentrations below 1 mg P/L and removing all pathogens from the effluent.

The optimisation phase allowed us to assess optimal operation parameters on the different manure types. Typically, for the UF, the optimal operation pressure was 100 kPa, while the linear speed of the liquid was about 2 m/s. It was noted that operating costs changed substantially depending on the manure to be treated; the treatment cost for storage

tank supernatant is between 2 and 4 $\text{\$/m}^3$, the pre-filtered manure between 1.2 and 3.5 $\text{\$/m}^3$, the Filtramat (coarse filter which replaced the 1 mm filter) effluent between 2.4 and 8.0 $\text{\$/m}^3$ and the FLR between 0.5 to 1.5 $\text{\$/m}^3$. The typical concentration factors reached during the experiments were of 2.5 for the tank manure, 3.3 for the pre-filtered manure, 1.7 for the Filtramat effluent and 6.5 for the FLR effluent. During the experimental phase of UF it was noted that solvent flux (initial flux with water) was stable with time, an excellent sign concerning the state of the membranes.

Ultrafiltration by itself cannot remove soluble phosphorus from the solution, whatever the operating conditions. UF also has low membrane performance due to high concentrations of suspended solids. Knowing that, the UF process was modified by concentrically inserting an anode and a cathode, which were wired to a power source (EUF 1). These electrodes were supposed to rise the linear speeds of the liquid in the membrane, and cause the precepitation of phosphorus with iron dissolved from the anode. These electrodes were first designed to block about 60 % of the membrane internal diameter. It was noticed that these inserts made the head loss rise substantially, which affected the economic analysis of the process. This phenomenon became of major importance when the inter-electrode space became filled with rust and various particles. It eventually blocked 90 % of the membrane. On the phosphorus removal aspect, we noted that the time required to lower concentrations below 1 mg P/L was so important that it posed a major problem: between 4 and 5 h. Knowing that substantial pumping costs are involved in that process, it was assessed that this process was not efficient enough. The use of insufficient currents and insufficient electrode areas could explain these results. Acknowledging all this information, it is reasonable to think that this modified ultrafiltration process is not viable, especially since it does not enhance membranar performance, that it creates big head loss and does not coagulate phosphorus fast enough. It was also noted that solvent flux declined quite fast with time, a sign that membranes have been seriously plugged, and that performances could not be restored with strong membrane washing.

In the aim of resolving a part of these problems, the electrode configuration was changed to create the EUF 2 process. This new process had a smaller stainless steel

electrode, to avoid filling the inter-electrode space. Production of micro-bubbles, added to the increase in linear velocities of the fluid was expected in that system. Unfortunately, the system did not perform as expected: gas volumes were too small to promote turbulence, membrane flux did not increase, and a significant head loss was still created. Like in the EUF 1, it was noted that solvent fluxes declined with time, a sign of decay in the membrane. While optimal parameters could not be evaluated for EUF 1, EUF 2 showed optimal speed and pressure at 1.5 m/s and 200 kPa. The concentration factors reached were similar to those noted in the operation of standard UF. It was noted that EUF could not bring a significant increase in membranar performances while increasing other costs, and have been dismantled.

Coupling UF with an electro-chemical process was the next step. Both sequences were tested (UF-ÉE and ÉE-UF). It was noted that when UF was the last treatment, a phosphate concentration of about 4 mg P/L was measured, and was stable in time. This increase is attributed to high shearing rates. However, when UF was the first treatment, phosphate concentrations in the effluent of the electrocoagulation were below 1 mg P/L. This leads to the conclusion that UF-ÉE is the best coupling sequence, allowing the process to remove suspended solids, particular COD, phosphate and pathogen micro-organism. UF has proven it could remove more than 99.99 % of total coliforms.

Membrane flux measured in this study matched the lower-range of flux usually noted in industrial treatment plants. Automation of operation and washing in membrane treatment will be the determinant factor in the success of the process in the industrial market. With fully automated membrane systems, it is possible to think that the coupling of UF and an electrochemical process for the reduction of suspended solids, coliforms and phosphorus could be successfully installed on small and average-sized farms.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	iv
RÉSUMÉ.....	v
ABSTRACT	ix
TABLE DES MATIÈRES	xii
LISTE DES TABLEAUX	xvii
LISTE DES FIGURES	xviii
LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS.....	xxiv
LISTE DES ANNEXES.....	xxvi
CHAPITRE 1 INTRODUCTION.....	1
1.1 Problématique	1
1.1.1. Problèmes occasionnés par le lisier de porc	1
1.1.2. Déphosphatation.....	2
1.1.3. Hygiénisation	3
1.2 Mise en contexte : Traitement d’effluents de porcherie au C.E.P.P. (St-Anselme).....	3
1.3 Objectifs	6
1.4 Organisation du mémoire	6
CHAPITRE 2 REVUE DE LITTÉRATURE.....	8
2.1 Filtration	8
2.1.1. Théorie générale sur les membranes	8
2.1.2. Paramètres d’opération	9
2.1.3. Microfiltration, ultrafiltration, nanofiltration et osmose inverse	9
2.2 Membranes d’ultrafiltration.....	11
2.2.1. Types de modules.....	11
2.2.2. Modes d’opération.....	13
2.2.2.1. Mode discontinu (en cuvée)	13
2.2.2.2. Mode continu :.....	14

2.2.2.3.	Diafiltration:	14
2.2.3.	Flux membranaires	15
2.2.4.	Aspects fondamentaux de l'ultrafiltration	16
2.2.5.	Transport.....	18
2.2.6.	Transport dans la membrane	18
2.2.6.1.	Porosité	18
2.2.6.2.	Pression	19
2.2.6.3.	Colmatage	19
2.2.7.	Réduction du colmatage	22
2.2.7.1.	Polarisation de concentration	24
2.3	Promoteurs de turbulence	26
2.3.1.	Mécanique.....	27
2.3.2.	Électrique	27
2.3.3.	Acoustique	28
2.3.4.	Lavage à contre-courant pulsé	28
2.3.5.	Insertion	28
2.3.6.	Vortex	32
2.3.7.	Statique avec particules	32
2.3.8.	Autres.....	32
2.4	Analyse économique	33
2.5	Paramètres de conception	34
CHAPITRE 3 MATÉRIEL ET MÉTHODES.....		36
3.1	Affluent : prélèvements	36
3.2	Montage expérimental.....	39
3.2.1.	Montage d'UF	39
3.2.2.	Montage de NF.....	39
3.2.3.	Description détaillée.....	43
3.2.4.	Spécifications du système.....	44
3.3	Fonctionnement du module d'UF et d'EUF :	45

3.4	Essais de couplage	48
3.5	Analyses	50
3.5.1.	Échantillonnage.....	50
3.5.2.	Méthodes analytiques	51
3.5.3.	Bilans de volumes	52
3.5.4.	Analyse économique	52
CHAPITRE 4 RÉSULTATS ET DISCUSSION.....		54
4.1	Aperçu général des résultats	54
4.2	Paramètres optimaux	59
4.2.1.	Essais préliminaires synthétiques.....	59
4.2.1.1.	J_v en fonction de ΔP	59
4.2.1.2.	Stabilité des flux membranaires en fonction du temps	61
4.2.1.3.	Écrasement de la membrane par la pression	61
4.2.1.4.	Colmatage irréversible	62
4.2.1.5.	J_v en fonction de U	63
4.2.2.	U et ΔP optimaux en UF – Effluent réel	65
4.2.2.1.	FLR.....	65
4.2.2.2.	Surnageant de fosse	66
4.2.2.3.	Lisier tamisé	67
4.2.3.	U et ΔP optimaux en EUF – Effluent réel	68
4.2.3.1.	FLR.....	69
4.2.3.2.	Surnageant de fosse	71
4.2.3.3.	Lisier tamisé	72
4.2.4.	Facteur de concentration volumique optimal en UF	74
4.2.4.1.	FLR	74
4.2.4.2.	Surnageant de fosse	75
4.2.4.3.	Lisier tamisé	76
4.2.4.4.	Filtramat	77
4.2.4.5.	Conclusion préliminaire.....	78

4.2.5.	Facteur de concentration volumique optimal en EUF	78
4.2.5.1.	FLR	78
4.2.5.2.	Surnageant de fosse	78
4.2.5.3.	Lisier tamisé	79
4.2.5.4.	Filtramat	81
4.2.5.5.	Conclusion préliminaire	81
4.2.6.	Coûts d'opération typiques	81
4.2.6.1.	UF	81
4.2.6.2.	EUF 2	82
4.3	Efficacité de l'EUF	82
4.3.1.	EUF 1 pour l'enlèvement du phosphore soluble	82
4.3.2.	EUF 1 et 2 pour la production de micro-bulles	87
4.3.2.1.	EUF 2	87
4.3.3.	Efficacité globale de l'EUF	90
4.4	Couplage	90
4.4.1.	Couplage de l'UF suivie de l'ÉE	91
4.4.2.	Couplage de l'ÉE suivie de l'UF	95
4.4.3.	Analyse économique	102
4.4.3.1.	UF	103
4.4.3.2.	EUF 1	103
4.4.3.3.	EUF 2	104
4.4.3.4.	Couplage UF suivie par l'ÉE	104
4.4.3.5.	Couplage de l'ÉE suivie de l'UF	104
4.4.4.	Conclusion préliminaire	105
4.5	Analyse comparative	105
4.5.1.	UF	106
4.5.2.	EUF	107
4.6	Caractérisation du lisier de porc	110
4.7	Retour sur les objectifs de traitement	111

4.7.1.	Hygiénisation	111
4.7.2.	Bilans de masse	112
4.8	Coût d'achat et de fonctionnement d'un système de membranes.....	113
4.9	Coûts d'opération.....	116
4.9.1.	Dimensionnement.....	117
CHAPITRE 5 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS.....		118
5.1	Rappel des objectifs	118
5.2	Conclusions	118
5.2.1.	Conclusion générale	118
5.2.2.	Électro-ultrafiltration.....	119
5.2.3.	Ultrafiltration	120
5.2.4.	Couplages UF-ÉE.....	121
5.2.5.	Analyse économique	122
5.3	Recommandations.....	123
RÉFÉRENCES		125
ANNEXES.....		129

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2-1 : Comparaison des différents types de modules d'ultrafiltration (Adapté de Brun, 1989 ; Zeman <i>et al.</i> , 1996).	11
Tableau 2-2 : Coefficient de transfert de masse en fonction du type de module utilisé.	17
Tableau 3-1 : Calendrier des arrivages de lisier.....	37
Tableau 3-2 : Paramètres d'opération de l'UF	47
Tableau 3-3 : Expériences effectuées sur les différents types de lisiers.....	49
Tableau 3-4 : Méthodes analytiques.....	51
Tableau 4-1 : Coûts et facteurs de réduction volumique atteints pour différents types d'effluents.	81
Tableau 4-2 : Coûts et facteurs de réduction volumique atteints pour différents types d'effluents.	82
Tableau 4-3 : Flux membranaires, facteurs de concentration volumiques et coût global atteints lors de la concentration des différents types de lisier.	103
Tableau 4-4 : Flux membranaires en en conditions réelles selon la littérature.....	107
Tableau 4-5 : Caractérisation du lisier de porc brut et vieilli – Adapté de Garzon (2001).....	110
Tableau 4-6 : Rendement épuratoire de l'UF.....	111
Tableau 4-7 : Concentrations en coliformes totaux et fécaux dans des échantillons de lisier de porc et de FLR.	112
Tableau 4-8: Capitalisation pour deux systèmes de traitement, de 18 et de 50 m ³ /d. Les unités de Q sont en US gpd. Adapté de Wiesner <i>et al.</i> (1999).	114
Tableau 4-9 : Capitalisation selon l'aire membranaire totale	115
Tableau 4-10 : Estimation des coûts d'exploitation d'un système membranaire (\$ / m ³ traité).	116

LISTE DES FIGURES

Figure 1-1 : Schéma de procédé du CEPP et de la ferme porcine de l'Île d'Orléans. Les points d'échantillonnage sont identifiés de A à D.....	5
Figure 2-1 : Schéma d'écoulement en filtration directe et en filtration tangentielle (adapté de Bouchard, 1982).....	9
Figure 2-2 : Taille des pores en fonction du type de filtration (adapté de Osmonics, 2002).....	10
Figure 2-3 : Opération de l'UF en mode discontinu	13
Figure 2-4 : Schéma d'écoulement de l'UF en fonctionnement continu – (Adapté de Brun, 1989).....	14
Figure 2-5 : Schéma d'écoulement de l'UF en fonctionnement diafiltration (Jaffrin <i>et al.</i> , 1994).....	15
Figure 2-6 : Courbe typique de rétention pour une membrane d'ultrafiltration (Brun, 1989).....	18
Figure 2-7 : Étapes de la réduction des flux membranaires (Adapté de Song, 1998).....	20
Figure 2-8 : Front du gâteau et de la couche de polarisation. (Adapté de Song, 1998).....	22
Figure 2-9 : Moyens de réduire la concentration de polarisation (Adapté de Brun, 1989).....	23
Figure 2-10 : Phénomènes de transport à la surface d'une membrane (Adapté de Brun, 1989)	24
Figure 2-11 : Étapes du processus de diffusion à travers une membrane – (1) : Adsorption, (2) diffusion, (3) désorption, (Brun, 1989).....	26
Figure 2-12 : Impact de l'insertion d'une tige sur les flux membranaires à $Q = 1,67 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ (a) et $4,17 \times 10^{-6}$ (b) à faible concentration de dextran (0,1%). (Yeh <i>et al.</i> , 2001)	29

Figure 2-13 : Impact de l'insertion d'une tige sur les flux membranaires à $Q = 1,67 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ (a) et $4,17 \times 10^{-6}$ (b) et à moyenne concentration de dextran (1%). Yeh <i>et al.</i> (2001).....	30
Figure 2-14 : Prédiction de l'impact du pourcentage d'obstruction du canal d'écoulement (k) les flux membranaires a) d'une solution peu concentrée de dextran à une vitesse de $1,0 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$, b) d'une solution concentrée à une vitesse de $1,0 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$, c) d'une solution peu concentrée à une vitesse de $3,0 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$, d) d'une solution concentrée à une vitesse de $3,0 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ (Adapté de Yeh <i>et al.</i> , 2000).....	31
Figure 3-1 : Schéma d'écoulement hydraulique de la ferme-école du CEPP, ainsi que les fosses à lisier avec les différents points d'échantillonnage.	37
Figure 3-2 : Vue externe du système de filtration membranaire (UF et NF).....	41
Figure 3-3 : schéma d'écoulement hydraulique du système de filtration.....	42
Figure 3-4 : Montage d'ultrafiltration. 1- Membrane d'UF, 2- Membrane de NF, 3- Valve de contrôle de la pression, 4- Appareillage de contrôle de la vitesse de la pompe, 5- Bassin de concentrat, 6- Bassin de perméat	43
Figure 3-5 : Enceinte maintenue en pression négative utilisée lors des essais	46
Figure 3-6 : Montage d'ultrafiltration, ainsi que l'emplacement des différentes sondes.....	47
Figure 4-1 : Flux membranaires solvant pour toute la durée des essais - (oct. '00 à mars '02).....	56
Figure 4-2 : Coût globaux (K/Q_w) minimaux et maximaux pour les types d'essais (effluent synthétiques et réels) sur la période de juin '00 à mars '02	57
Figure 4-3 : Flux membranaires moyens pour les types d'essais sur la durée de l'étude - (oct. '00 à mars '02).....	58

Figure 4-4 : J_v en fonction de ΔP pour de l'eau du robinet passée en UF - (29 sept '00).....	60
Figure 4-5 : J_v en fonction du temps pour l'UF d'eau du robinet - (3 août '01).....	61
Figure 4-6 : J_v en fonction du temps d'UF d'eau du robinet pour des pressions de 15, 100 et 150 kPa – (11 juil. '01).....	62
Figure 4-7 : Variation séquentielle croissante (flèche 1) puis décroissante (flèche 2) de la vitesse de recirculation pour deux pressions données en UF d'eau du robinet - (1 mai '02).....	64
Figure 4-8 : Courbes théoriques du coût global en fonction de la vitesse de recirculation à différentes pressions (Mameri, 2001).....	65
Figure 4-9 : Courbe typique de la détermination des paramètres optimaux de l'UF sur du FLR (effluent E) – (5 juil. '01).....	66
Figure 4-10 : Courbe typique de la détermination des paramètres optimaux de l'UF sur du surnageant de fosse (Effluent K) - (7 fév. '02)	67
Figure 4-11 : Courbe typique de la détermination des paramètres optimaux de l'UF sur du lisier tamisé (Effluent J) - (17 oct. '01)	68
Figure 4-12 : Courbe typique de la détermination des paramètres optimaux de l'EUF 2 sur le FLR (Effluent F) - (23 nov. '01).....	70
Figure 4-13 : K/Q_w en fonction du temps pour un module d'EUF 2 polarisé et non-polarisé traitant du FLR (Effluent F) - (23 nov. '01).....	71
Figure 4-14 : Courbe typique de la détermination des paramètres optimaux de l'EUF 2 avec du surnageant de fosse (Effluent C) - (11 jan. '02)	72
Figure 4-15 : Courbe typique de la détermination des paramètres optimaux de l'EUF 2 avec du lisier tamisé (Effluent K) - (9 jan. '02)	73
Figure 4-16 : Courbes typiques de K/Q_w en fonction du facteur de concentration volumique pour l'UF de surnageant de fosse (Effluent C) A) Essai du 29 jan. '02 B) Essai du 27 fév. '02	75
Figure 4-17 : Courbe typique du K/Q_w en fonction du facteur de concentration volumique pour l'UF de lisier tamisé (Effluent K) – (4 fév. '02).....	76

Figure 4-18 : Courbe typique de K/Q_w en fonction du facteur de concentration pour l'UF d'effluent du Filtramat (Effluent L) – (18 fév. '02).....	77
Figure 4-19 : K/Q_w en fonction du facteur de concentration volumique lors de l'EUF 2 de surnageant de fosse (Effluent C) - (18 jan. '02).....	79
Figure 4-20 : K/Q_w en fonction du facteur de concentration volumique lors de l'EUF 2 de lisier tamisé (Effluent K) – (10 jan. '02).....	80
Figure 4-21 : Concentration des orthophosphates dans le perméat de l'EUF 1 en fonction de la pression dans une solution synthétique de K_2HPO_4 (Effluent A) - (29 sept. '00).....	83
Figure 4-22 : Concentrations d'orthophosphates dans le concentrat et le perméat de l'EUF 1 en fonction du temps de réaction (3,25 VDC, 5 A) sur l'effluent synthétique (Effluent A) - (16 fév. '01).....	85
Figure 4-23 : Concentration de phosphore total dans le perméat de l'EUF 1 en fonction du temps de concentration de surnageant de fosse (Effluent B) - (20 fév. '01)	86
Figure 4-24 : Concentration d'orthophosphates dans le concentrat et le perméat de l'EUF d'eau du robinet additionnée de K_2HPO_4 (Effluent A) en fonction du temps de réaction (3,25 V, 5 A) – (5 mar. '01).....	87
Figure 4-25 : Débit de gaz en fonction de l'intensité de courant électrique appliqué sur les électrodes de l'EUF 2 en colonne hermétique avec de l'effluent synthétique – (13 sept. '01).....	88
Figure 4-26 : Débit de gaz en fonction de l'ampérage appliqué sur les électrodes d'EUF 2 pour du lisier de porc tamisé, ainsi que pour du FLR (Effluent F) – (15 nov. '01)	89
Figure 4-27 : Couplage de l'UF suivie de l'ÉE sur du surnageant de fosse (Effluent C), évolution des concentrations de phosphore dans le temps A) concentration de phosphore total dans le perméat de l'ultrafiltration au cours de 25 h de concentration, B) concentration de phosphore total et d'orthophosphates en fonction du temps en	

électro-épuration du perméat de l'UF. Adapté de Albert, 2002 - (12 fév. '02)	91
Figure 4-28 : Concentration de phosphore au cours d'un essai de couplage UF- ÉE sur du Filtramat (Effluent L), A) Concentration de phosphore total dans le perméat de l'UF et B) Concentration de phosphore total et d'orthophosphates dans le surnageant de l'électro- épuration. Adapté de Albert, 2002 – (18 fév. '02).....	93
Figure 4-29 : Concentration de phosphore au cours d'un essai de couplage ÉÉ- UF sur du Filtramat (Effluent L), A) Concentration de phosphore total et d'orthophosphates lors de l'électro-épuration. Adapté de Albert, (2002), B) Concentration de phosphore total dans le perméat de l'ultrafiltration – (14 fév. '02).....	95
Figure 4-30 : Concentration en MES, MVES, MIS et DCO en fonction du temps pour l'électro-épuration de Filtramat (Effluent L). Adapté de Albert, 2002 – (14 fév '02)	97
Figure 4-31 : Concentration de phosphore au cours d'un essai de couplage ÉÉ- UF sur du surnageant de fosse (Effluent C). A) Concentrations de phosphore total et d'orthophosphates en fonction du temps dans le surnageant de l'ÉE. Adapté de Albert, (2002) B) Concentration de phosphore total dans le perméat de l'UF - (20 fév. '02)	98
Figure 4-32 : Concentrations en MES et MVES dans le surnageant du bassin de procédé de l'électro-épuration lors du traitement de surnageant de fosse (Effluent C) – (20 fév. '02).....	99
Figure 4-33 : Essai de couplage ÉÉ-UF sur du lisier tamisé (Effluent H), A) Concentrations de phosphore total et d'orthophosphates dans le surnageant du bassin de procédé de l'électro-épuration. Adapté de Albert, (2002) B) Concentration de phosphore total et d'orthophosphates dans le perméat de l'ultrafiltration - (20 mar. '01)	101

Figure 4-34 : Concentration de phosphore au cours d'un essai de couplage ÉÉ-UF sur du lisier de pouponnière (Effluent M), A) Concentrations de phosphore total et d'orthophosphates dans le bassin de procédé de l'ÉÉ. Adapté de Albert, (2002) B) Concentration de phosphore total dans le perméat de l'UF – (4 mar. '02).....	102
Figure 4-35 : Flux membranaires prédits par le modèle de Yeh <i>et al.</i> (2000) en fonction du rapport « rayon de la tige insérée sur rayon du canal d'écoulement »	108
Figure 4-36: Bilan de masse typique pour l'ultrafiltration de lisier tamisé	112

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

CEPP	Centre d'excellence en production porcine
Ci	Concentration initiale
Cf	Concentration finale
COD	« Chemical oxygen demand »
DBO ₅	Demande biochimique en oxygène sur une période de 5 jours
DCO	Demande chimique en oxygène
ÉE	Électro-épuration
EUf	Électro-ultrafiltration
FCV	Facteur de concentration volumique
FLR	Filtre à lit ruisselant
Jv	Flux membranaire
LT	Lisier tamisé
MES	Matières en suspension
MIS	Matières inertes en suspension
MT	Matières totales
MVES	Matières volatiles en suspension
NF	Nanofiltration
NTK	Azote total Kjeldahl
O.D.	Oxygène dissous
o-PO ₄	Orthophosphates
O.I.	Osmose inverse
ORP	“Oxidation reduction potential”
PAEF	Plan agro-environnemental de fertilisation
Polipur	Procédé de polissage envisagé pour la station de traitement du CEPP
Pt	Phosphore total
TKN	“Total Kjeldahl nitrogen”
Qv	Débit de recirculation

Qw	Débit de perméat
SF	Surnageant de fosse
U	Vitesse linéaire
UF	Ultrafiltration

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE I	129
ANNEXE II.....	231

CHAPITRE 1

INTRODUCTION

1.1 Problématique

1.1.1. Problèmes occasionnés par le lisier de porc

Au Québec, la production porcine a connu un essor important dans les dernières années avec une croissance de 17% entre 1996 et 1998 (Centre de développement du porc du Québec, 2002). Ceci place le Québec au premier rang canadien au point de vue de la production, avec environ 6 500 000 têtes par année. Cette production se traduit par de grands volumes d'exportations; le Québec se positionne également en tête au point de vue des exportations, qui atteignaient environ 700M\$ en 1998. Au cours des 30 dernières années, les méthodes d'élevage ont considérablement changé, quadruplant le cheptel et faisant passer la taille moyenne des entreprises de 15 à 900 porcs (Allen, 1999).

La spécialisation des fermes autour de l'élevage, laissant de côté la production végétale, a entraîné la production de surplus d'engrais. Ce phénomène a été amplifié par la concentration de la production porcine dans quelques régions du Québec (Beauce, Montérégie). De plus, les producteurs porcins ne possédant plus nécessairement de cultures agricoles, ont commencé à délaisser l'élevage sur litière pour se tourner vers l'élevage sur lisier, reconnu comme plus automatisable et plus salubre. Selon Allen, (Centre de développement du porc du Québec, 2002) en 1991, les effluents de porcheries étaient composés de 97% de lisiers et 3% de fumiers. Au cours de son existence, un porc produira environ 1-1,5 m³ de lisier; il n'est donc pas trop surprenant de constater qu'environ 8,6 millions de mètres cubes ont été générés en 1991, dont 5 étaient en surplus. Ces surplus de lisiers, concentrés dans quelques régions administratives ont entraîné des problèmes : sur-fertilisation (dépassement des PAEF et accumulation de P dans les sols; Agricultural Research Service, 2002), compaction des sols, contamination des cours d'eau, contamination de l'air (CH₄, NH₃, NO₂, H₂S) (Ministère de l'environnement de l'Ontario, 2002). Les pires contaminants sont le phosphore et les coliformes; le phosphore lorsque

déversé dans l'environnement peut causer l'eutrophication des plans d'eau. L'eutrophication est l'accélération anthropique d'un phénomène naturel qui est l'eutrophisation. L'eutrophisation est la prolifération d'un nombre limité d'espèces végétales dans des eaux dont les conditions de croissance ont été améliorées. Ces conditions sont fonction de la température, de l'exposition à la lumière, du courant, de la diversité de l'habitat, et de la présence de nutriments (N, P, C). Cette prolifération entraîne une diminution des concentrations en oxygène dissous, augmentation des concentrations de nitrites et ammoniacque, entraînant éventuellement la disparition de certaines espèces de poissons. L'élément limitant la croissance végétale étant le phosphore, c'est cet élément qui est la clé du contrôle de ce phénomène l'eutrophication. Au Québec, une concentration maximale de 1,0 mg/L-P est tolérée dans les rejets industriels, norme variable en fonction de la charge rejetée au cours d'eau.

Les coliformes présents dans le lisier de porc peuvent être de plusieurs types, dépendamment du type d'élevage, du traitement, du temps d'entreposage, etc. Les principales espèces sont : *E. coli*, (Agriculture et agroalimentaire Canada, 2002) *Salmonella*, *Clostridium perfringens*, *Streptococcus*. Les coliformes posent un problème environnemental lorsque le lisier est épandu sur les champs, et qu'une partie de ce dernier est lessivé dans les cours d'eau. Ceci résulte en une contamination des eaux de surface, un problème relativement important pour les municipalités qui puisent leur eau dans les rivières.

1.1.2. Déphosphatation

Les principaux moyens de déphosphatation sont chimiques, physiques et biologiques. La déphosphatation chimique repose sur la précipitation d'un sel métallique avec le phosphore, formant alors un composé insoluble qui peut être enlevé par sédimentation. La déphosphatation biologique se base plutôt sur le fait que la biomasse peut, avec un cycle aérobie/anaérobie accumuler le phosphore sous forme de polyphosphates, et se concentrer dans les boues qui sont purgées. Plus diversifiés, les procédés physiques peuvent enlever la fraction soluble; par cristallisation (phosphates de

calcium), échange d'ion, adsorption, nanofiltration et osmose inverse. Pour enlever la fraction particulaire, la coagulation-floculation et la filtration – microfiltration et ultrafiltration peuvent être bien adaptées (Morse *et al.*, 1998).

1.1.3. Hygiénisation

L'hygiénisation est un traitement qui réduit à un niveau non détectable les agents pathogènes présents dans l'effluent. Selon le CEMAGREF (France), un liquide hygiénisé doit contenir une concentration indétectable de bactéries pathogènes (CEMAGREF, 2002). Les principales techniques d'hygiénisation sont : le traitement thermique, les U.V., l'irradiation gamma, la chloration, l'ozonation et la filtration – ultrafiltration, nanofiltration et osmose inverse.

1.2 Mise en contexte : Traitement d'effluents de porcherie au C.E.P.P. (St-Anselme)

Le traitement d'effluent de porcheries est un domaine relativement vaste, c'est pourquoi nous avons décidé de diversifier notre étude et de tester l'éventail d'effluents que l'on peut rencontrer dans des cas réels. Ainsi, Envirogain ayant mis sur pied un centre de traitement des lisiers au CEPP, nous avons donc eu accès à la plupart de ces effluents normalement disponibles sur une ferme. Le CEPP est une mini-ferme d'une centaine de porcs qui utilise la gestion sur lisier. Ainsi, le bâtiment utilise beaucoup d'eau, d'où l'intérêt d'une recirculation de l'eau dans la porcherie ou un rejet au cours d'eau une fois le liquide épuré.

Le lisier provenant des salles d'élevage est tout d'abord passé sur un tamis tangentiel (~2 mm) qui constitue un premier dégrillage. Les matières solides qui sont récupérés dans cette étape sont ensuite envoyées sur une presse à vis (~ 620µm), puis envoyés dans une benne à compostage (récupération des biosolides). Le filtrat du tamis tangentiel, ainsi que le filtrat de la presse à vis se jettent dans le bassin d'égalisation, bassin tampon servant à régulariser l'alimentation du bioréacteur. Le bioréacteur (BIOFERT) est un bioréacteur « parfaitement mélangé », alternant les phases aérobie et anaérobie afin de

permettre un meilleur enlèvement de l'azote (nitrification-dénitrification) et du phosphore (purge des boues). Le surnageant du bioréacteur est envoyé dans un décanteur avant d'être acheminé dans une biotour (FLR). La fonction de cette tour est de mélanger l'air et le surnageant du bioréacteur afin de compléter le traitement (dénitrification), et de réduire les odeurs et teneurs en ammoniacque dans l'air recirculé. Ensuite se trouve un deuxième décanteur qui se jette dans le bassin de reprise (bassin de procédé pour POLIPUR). Le POLIPUR est le procédé de polissage qui doit être installé au CEPP, et permettre de recirculer l'eau dans la porcherie et de permettre le rejet de l'effluent au cours d'eau. Le type de procédé actuellement envisagé pour le POLIPUR est l'électro-épuration, étant donné ses bonnes performances regardant l'enlèvement du phosphore et des MES.

La figure 1-1 présente la chaîne de traitement du CEPP, ainsi que les différents points d'échantillonnage où nous avons prélevé nos lisiers. Nous avons donc traité le surnageant de fosses à lisier, le surnageant de bassin d'égalisation, l'effluent du Filtramat et l'effluent du FLR (au niveau du bassin de reprise).

1.3 Objectifs

La stabilité des systèmes biologiques étant difficilement prévisible, il est envisagé d'étudier la possibilité de remplacer la filière biologique (RBS et FLR) par un procédé physico-chimique (UF plus autre procédé). Une étude économique devra accompagner l'étude technique afin d'étudier la viabilité de ce procédé comparativement à la filière existante.

Les coûts des systèmes membranaires, autant d'acquisition que de fonctionnement étant élevés, il est à l'étude de concevoir et d'optimiser un promoteur de turbulence à la surface de la membrane qui aura pour rôle d'augmenter les flux membranaires, donc de diminuer les coûts d'opération. Des études antérieures sur la filtration ont su montrer qu'un promoteur de turbulence pouvait augmenter les flux membranaires de 30 à 50%.

Le bioréacteur ayant d'assez bonnes performances sur l'enlèvement des coliformes, du Pt, du Ntot, il faudra comparer ces performances avec ce que l'ultrafiltration peut fournir. L'objectif étant le rejet au cours d'eau et la recirculation dans la porcherie, il est impératif que l'effluent soit hygiénisé et respecte la norme de 1,0 mg P/L. Afin d'atteindre cette dernière norme, il est envisagé d'utiliser le promoteur de turbulence comme mini-réacteur électrochimique avec une anode soluble en acier, ayant pour effet de coaguler le phosphore soluble, de produire de l'oxygène, du chlore aux électrodes et de casser la couche de polarisation avec les micro-bulles à la surface de la membrane.

1.4 Organisation du mémoire

Nous décrirons la démarche poursuivie afin de tester les performances de l'ultrafiltration avec et sans promoteur de turbulence, ainsi que les capacités d'enlèvement des différents contaminants par l'UF et de l'EUF. Nous discuterons également de la

performance de l'UF précédée ou suivie d'électro-épuration en comparaison avec le procédé biologique existant.

Le premier chapitre d'introduction présente le contexte ainsi que les objectifs de recherche.

Le chapitre 2 (revue de littérature) expose les différentes théories concernant les procédés membranaires, les promoteurs de turbulence, ainsi que ce qui s'est déjà fait en UF sur le lisier de porc et les eaux usées.

La méthodologie employée est décrite brièvement au chapitre 3 : montages et protocoles en UF, couplages avec l'électro-épuration.

Une présentation et une analyse détaillée des résultats expérimentaux ont été effectuées au chapitre 4.

Enfin, le chapitre 5 : discussion et conclusion effectue une synthèse des points analysés et fait un retour sur les objectifs initiaux et propose des améliorations au système en plus de traiter des expériences qui pourraient être intéressantes à effectuer dans le futur.

CHAPITRE 2

REVUE DE LITTÉRATURE

Ce chapitre présente la théorie générale sur la filtration, puis les thèmes plus spécifiques de l'ultrafiltration, en plus d'étudier la théorie sur les montages de promoteurs de turbulence ainsi que leurs applications.

2.1 Filtration

2.1.1. Théorie générale sur les membranes

L'ultrafiltration est une méthode de séparation physique utilisant des *membranes* ; celles-ci, lorsque disposées sur le trajet de liquides sont capables d'en séparer les constituants en fonction de leurs propriétés de transport propres lorsqu'une pression est appliquée. Une membrane est une interface sélective, synthétique (plus fréquemment polymérique) séparant deux milieux et contrôlant le transport d'une substance de manière spécifique (Zeman *et al.*, 1996) à travers ses pores dans le perméat, alors que les substances avec un poids moléculaire supérieur au seuil de coupure sont retenues dans le concentrat. On qualifie donc ces membranes de permsélectives. Ce qui caractérise la plupart des procédés membranaires est l'écoulement tangentiel, comparativement aux procédés de filtration classique. De façon classique, la direction de l'écoulement de la solution est la même que celle du filtrat, ce qui mène à une accumulation importante de particules à la surface de la substance filtrante, menant l'apparition de ce que l'on appelle un « gâteau ». Ce dernier posant un obstacle supplémentaire à la filtration peut éventuellement colmater le filtre et forcer un lavage à contre-courant. Un écoulement tangentiel permet d'éviter ce type de problème en nettoyant en continu la membrane, ainsi qu'en homogénéisant la concentration de soluté et de matières en suspension dans tout le volume à traiter. La filtration tangentielle ne peut toujours se faire en un seul passage du liquide à traiter dans la membrane, ce nombre de passages en recirculation requis afin d'obtenir la concentration

voulue sera déterminé en fonction du flux de perméat (J_v). La figure 2-1 présente un schéma d'écoulement en filtration directe et tangentielle.

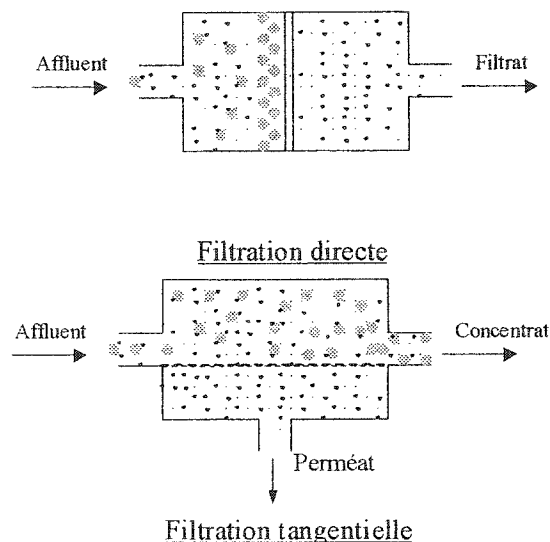


Figure 2-1 : Schéma d'écoulement en filtration directe et en filtration tangentielle (adapté de Bouchard, 1982)

2.1.2. Paramètres d'opération

Plusieurs paramètres d'opération peuvent avoir un impact important sur les performances des membranes. Entre autres, on retrouve la température, la pression, le pH, la vitesse tangentielle, la concentration de sels dissous et de matières en suspension, le pré-traitement et les conditions de lavage (PLURITEC, 1994). De façon générale, il a été noté que les flux membranaires étaient affectés de façon positive lorsque les températures étaient élevées ($< 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ afin de ne pas dénaturer les membranes), à pression élevée ($< 400\text{ kPa}$), à faible concentration en MT et MES (requérant donc un bon pré-traitement) et à grand débit de recirculation (augmentant les forces de cisaillement).

2.1.3. Microfiltration, ultrafiltration, nanofiltration et osmose inverse

Les principales méthodes de filtration sont la microfiltration, l'ultrafiltration, la nanofiltration et l'osmose inverse (aussi nommée hyper-filtration). La composition chimique de la surface de la membrane, celle qui est directement en contact avec la

solution à traiter, est ce qui déterminera le plus les caractéristiques de rétention de celle-ci. C'est donc la caractérisation de la surface, ainsi que de la taille des pores qui permettent généralement de distinguer les différentes techniques de séparation par membranes. Les conditions de formation, ainsi que les matériaux de la membrane leur donneront leurs caractéristiques propres ; hydrophilicité, charge ionique, résistance à la température et aux agents chimiques, affinité de liaison avec des solutés, taille et forme des pores, etc... (Brun, 1986). Les caractéristiques générales des différents procédés membranaires sont présentées à la figure 2-2.

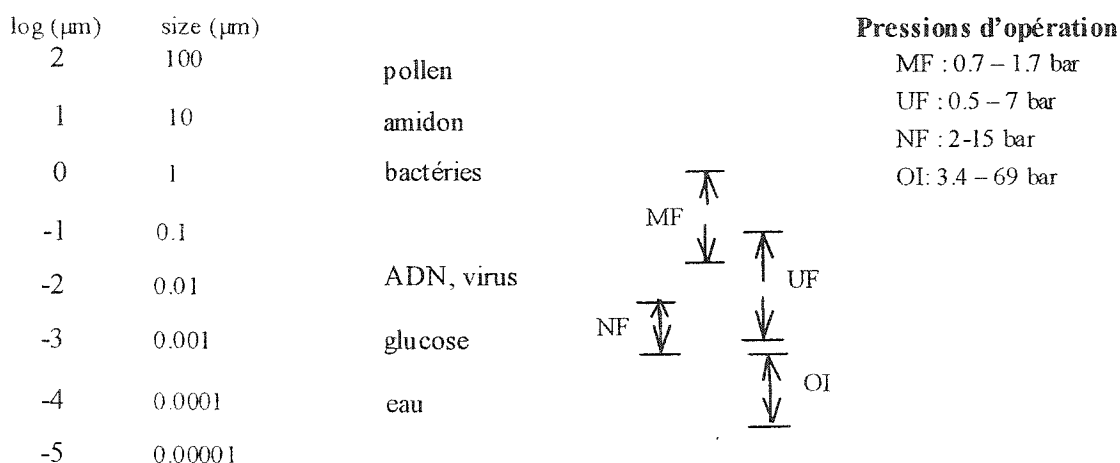


Figure 2-2 : Taille des pores en fonction du type de filtration (adapté de Osmonics, 2002)

La taille des pores et la pression d'opération ne sont pas les seuls éléments différenciant tous ces procédés de filtration. En effet, un phénomène d'importance assez faible en MF et en UF prend de l'ampleur en NF et en OI ; il s'agit de l'effet de charge. Ce phénomène vient de l'interaction entre les charges à la surface de la membrane et la charge des solutés présents dans la solution, menant à une perméation ou un rejet modifiés. Des charges sur l'interface de même polarité que les charges présentes dans une solution à traiter peut favoriser une adsorption à la surface de la membrane. Plus la taille des pores s'approchera du diamètre des petites espèces moléculaires, plus ces interactions deviendront plus importantes (Brun, 1989 ; Grib, 2000).

2.2 Membranes d'ultrafiltration

Les membranes d'ultrafiltration ont été découvertes en 1963, à la suite du développement des membranes d'osmose inverse en acétate de cellulose (Bouchard, 1982). Depuis ce temps, plusieurs autres types de membranes ont été développés, dont les membranes inorganiques (principalement faites de céramiques recouvertes d'oxydes de métaux) et les membranes synthétiques organiques en PVDF, PTFE et PCI (Bellhocine *et al.*, 1998). Afin d'éviter l'accumulation de soluté du côté aval de la membrane, toutes ces membranes ont été conçues selon un mode asymétrique : la taille des pores augmente lorsque le liquide passe de l'amont à l'aval. Le support, qui constitue une très grande proportion du volume de la membrane ne sert qu'à apporter un élément de résistance mécanique à la peau de la membrane placé sur ce dernier tout en facilitant l'écoulement du solvant.

2.2.1. Types de modules

Les modules d'ultrafiltration peuvent avoir plusieurs configurations : **planes, tubulaires, en fibre creuses ou spiralées** (tableau 2-1).

Tableau 2-1 : Comparaison des différents types de modules d'ultrafiltration (Adapté de Brun, 1989 ; Zeman *et al.*, 1996).

Configuration du module	Diamètre du canal d'écoulement (cm)	Rapport surface/volume (m^2/m^3) du module (m^{-1})	Coûts énergétiques de pompage	Susceptibilité au colmatage particulière	Nettoyage
Plan	0,03-0,25	300	Moyens	Moyenne	Aisé
Spiralé	0,03-0,1	600	Faibles	Très élevée	Ardu
Tubulaire	1,0-2,5	60	Élevés	Faible	Excellent
Fibres creuses	0,02-0,25	1200	Faibles	Élevée	Moyen

Le module de type plan allie bon rapport surface/volume, coûts énergétiques raisonnables et facilité de nettoyage. L'utilisation de ce type de membrane se fait habituellement dans des eaux moyennement chargées. Il est assez fréquent qu'un grillage (promoteur de turbulence) soit inséré dans le canal d'écoulement parallèlement à la membrane afin d'augmenter le transfert de masse.

Développées dans le milieu des années 1960 par la « Gulf General Atomics » afin de trouver une solution efficace au dessalement de l'eau de mer, les membranes spiralées se comportent comme des cellules de grande longueur enroulées autour d'un axe creux. Très efficace au niveau technique, en plus de ne demander qu'un investissement assez faible et d'être très compact, ce type de module a un grand potentiel sur des liquides très peu chargés en matières en suspension. Son principal désavantage est sa sensibilité aux MES lorsque les concentrations sont élevées, ainsi que sa difficulté de lavage. Il est utilisé principalement en nanofiltration et en osmose inverse, deux procédés qui sont généralement précédés d'un pré-traitement avancé.

Requérant un investissement relativement important, et offrant des performances techniques moyennes ou faibles, le module tubulaire est limité à certaines applications comme les effluents à forte charge. Une augmentation dans les transferts de masse peut être atteinte avec l'utilisation du bon type de promoteur de turbulence (Zeman *et al.*, 1996). De grandes vitesses linéaires peuvent être appliquées à ce type de module, ce qui peut s'avérer un avantage certain lorsque la polarisation de concentration ou le gâteau créent un obstacle majeur (Brun, 1989).

Développées par DuPont dans les années 1960, les membranes à fibres creuses étaient initialement utilisées pour le dessalement d'eau de mer. Requérant un investissement modeste et offrant de très bonnes performances avec un module compact, ces membranes sont également très intéressantes pour les effluents très faiblement chargés. La faible vitesse linéaire à la surface de la membrane est le principal problème de ce module et elle peut mener à une accumulation de matières solides, problème d'autant grave que la susceptibilité aux matières en suspension est élevée. Un exemple de cette

susceptibilité a été illustré par Sharma *et al.* (1993). : ils ont noté que les fibres creuses subissaient un colmatage important lorsqu'elles étaient exposées à de fortes concentrations de matières en suspension, et que la performance des membranes ne pouvait être rétablie qu'avec un lavage musclé, ce qui avait pour effet de réduire considérablement la durée de vie des membranes.

2.2.2. Modes d'opération

2.2.2.1. Mode discontinu (en cuvée)

Convenant bien aux petites unités ayant peu de volume à traiter ou ayant un effluent très chargé, ce mode d'opération (figure 2-3) permet d'obtenir des facteurs de réduction volumique très importants (Brun, 1989).

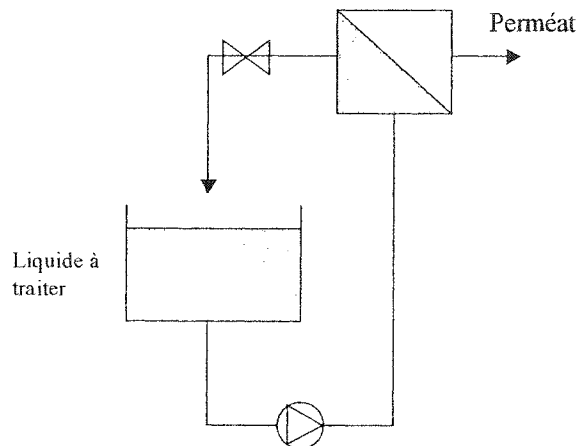


Figure 2-3 : Opération de l'UF en mode discontinu

Le facteur de concentration volumique (FCV) peut être calculé avec la relation 1.

(Adapté de Brun, 1989)

$$FCV = V_i/V_f \quad (1)$$

Dans cette équation, V_i est le volume de lisier initial, alors que V_f est le volume de concentrat après traitement.

2.2.2.2. Mode continu :

Essentiellement, le dispositif de ce mode opératoire est le même que celui présenté à la figure 2-3, sauf que le concentrat n'est pas entièrement recyclé, mais partiellement purgé du système de manière continue. La charge introduite dans le système doit être égale à la somme des charges du perméat et de purge du rétentat comme illustré à la figure 2-4.

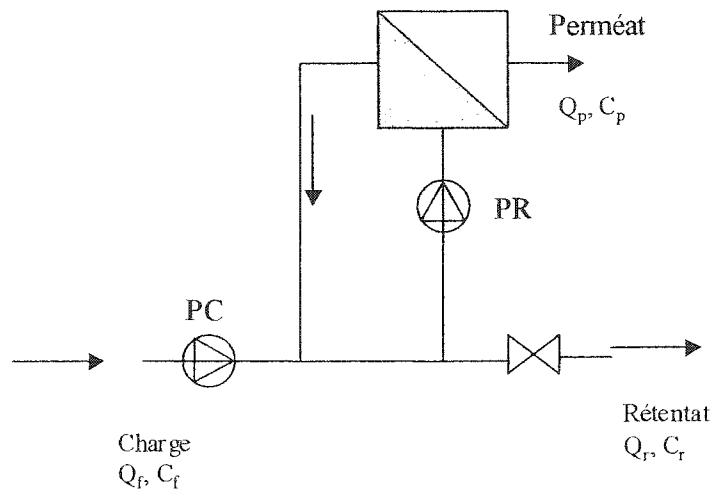


Figure 2-4 : Schéma d'écoulement de l'UF en fonctionnement continu – (Adapté de Brun, 1989)

2.2.2.3. Diafiltration:

La charge à traiter peut contenir de petits solutés ioniques dont la concentration est trop importante et il peut s'avérer nécessaire qu'ils soient partiellement éliminés. Ce type de fonctionnement est principalement utilisé dans le domaine médical où les concentrations de soluté sont des facteurs très importants. Le principe de base est présenté à la figure 2-5.

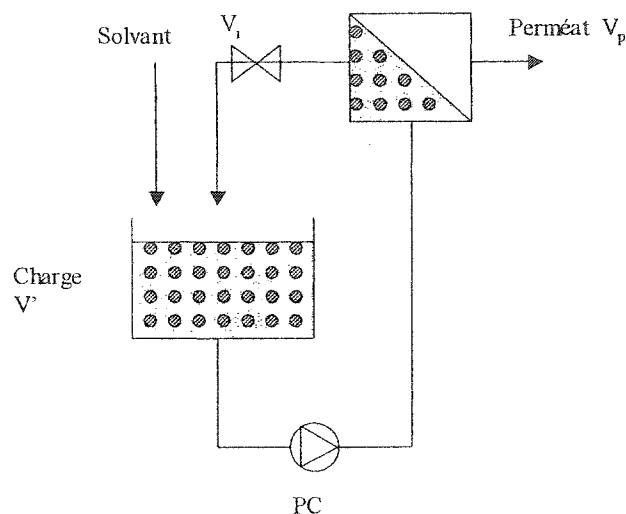


Figure 2-5 : Schéma d'écoulement de l'UF en fonctionnement diafiltration (Jaffrin *et al.*, 1994)

Dans le cas de la diafiltration, il faut maintenir constant le volume de la charge, c'est pourquoi il y a ajout de solvant (Adapté de Brun, 1989). Ce système est typiquement utilisé pour la concentration de certaines protéines en remplaçant le plasma sanguin par une solution isotonique.

2.2.3. Flux membranaires

Les flux membranaires sont le facteur le plus important dans la détermination du coût d'opération de l'ultrafiltration (Belhocine *et al.*, 1998). De façon générale, ils varient de 15 à 100 $\text{Lm}^{-2} \text{h}^{-1}$ en eaux usées. Ces flux membranaires dépendront de multiples facteurs comme la pression osmotique du liquide, de la charge de MES, de la taille relative des MES par rapport à la taille des pores de filtration, et du facteur de concentration volumique visé. Ces aspects seront étudiés plus en détail dans la section IV – résultats et discussion.

2.2.4. Aspects fondamentaux de l'ultrafiltration

Énergie dans le module :

Un des principaux défis en filtration tangentielle est d'ajuster le transfert de masse avec les coûts de pompage. La relation générale de la consommation d'énergie avec le pompage est (Zeman *et al.* (1996) ; Sharma *et al.* (1993)) :

$$E_{\text{pomp}} = \Delta P * Q \quad (2)$$

Où E_{pomp} (W) est l'énergie totale consommée, ΔP (Pa) est la diminution de pression due à l'écoulement à travers le module, Q (m³/s) est le débit total.

Le taux de transfert massique est directement relié aux forces de cisaillement (Zeman *et al.* (1996)) :

$$\gamma_w = \frac{d}{4\mu} \left(\frac{\Delta P}{L} \right) \quad (3)$$

Où L (m) = longueur du canal d'écoulement, d (m) = diamètre du canal, μ (cp) = viscosité de la solution. Dans le cas qui nous concerne, $d = 2,09$ cm (0,826 po.), $L = 135,9$ cm (53,5 po.).

En écoulement laminaire, le coefficient de transfert massique est proportionnel à $(\gamma_w/L)^{1/3}$ ou plus précisément (Zeman *et al.* (1996)):

$$k(x) = 0.538 \left(\frac{D^2 \gamma_w}{x} \right)^{1/3} \quad (4)$$

où x (m) est la distance de l'entrée du canal d'écoulement, D le coefficient de diffusion, γ_w est le taux de cisaillement.

Des coefficients de transfert de masse élevés requièrent donc des taux élevés de cisaillement, et le tout doit être fait à de faibles débits de circulation afin de minimiser l'énergie de pompage. Ceci peut être atteint en utilisant des canaux d'écoulement très fins ou par l'introduction de promoteurs de turbulence (Zeman *et al.*, 1996). Le Tableau 2-2

compare les valeurs de coefficients de transfert de masse pour différentes configurations de modules.

Tableau 2-2 : Coefficient de transfert de masse en fonction du type de module utilisé.

Configuration du module	Diamètre du canal d'écoulement (cm)	Nombre de Reynolds (Re)	Coefficient de transfert de masse, k (m/s $\times 10^6$)
Plan	0,1	2 000	9
Spiralé (grillage)	0,1	500	16
Tubulaire	1,0	20 000	14
Fibre creuse	0,04	1 000	11
Cellule agitée	2,0	10 000	5
Vortex (rotation)	0,1	4 000	20

On note que le coefficient de transfert de masse pour les membranes tubulaires est parmi les plus élevés. Ceci s'explique par les vitesses importantes habituellement appliquées à ce type de module, créant d'importantes forces de cisaillement à la surface de la membrane. Un autre élément à relever est la différence de performance entre le module plan et le module spiralé ; la principale différence entre le fonctionnement de ces deux modules est la présence d'un promoteur de turbulence à la surface de la membrane spiralée, augmentant beaucoup son coefficient de transfert de masse. Ce coefficient est également dépendant de la température, augmentant de 3 à 3,5% pour chaque augmentation de 1°C. En général, il augmente avec une diminution du potentiel osmotique, une augmentation des charges des solutés, et une baisse de la viscosité (Zeman *et al.*, 1996).

2.2.5. Transport

La filtration consiste à forcer un liquide à travers un média filtrant afin d'en séparer les composants. Le transport pour les liquides se fait selon trois modes : *diffusion*, *migration* et *convection*. Les deux premiers consistent à déplacer les molécules sous l'action d'une force extérieure alors que la convection est un mouvement d'ensemble, imposé par le déplacement du liquide (Brun, 1989).

2.2.6. Transport dans la membrane

2.2.6.1. Porosité

La rétention d'une membrane est essentiellement déterminée par le rapport entre le diamètre hydrodynamique du soluté et le diamètre apparent des pores. Ces calculs théoriques ne sont pas toujours réalistes, c'est pourquoi dans la pratique la rétention d'une membrane est plutôt mesurée en fonction de la masse molaire de différentes macromolécules « challenge test » comme: le tryptophane ($M = 204$), la bacitracine (1400), l'inuline (5175), le cytochrome C (13 000), la myoglobine (17 800), le polyéthylène glycol (20 000), l'albumine (67 000), les immunoglobulines G (160 000) ou M (900 000). On passe chacune des différentes macromolécules en ultrafiltration et on note la proportion des molécules retenues. L'ensemble de toutes ces données donne la courbe de rétention. Une courbe typique d'une membrane d'ultrafiltration est présentée à la figure 2-6.

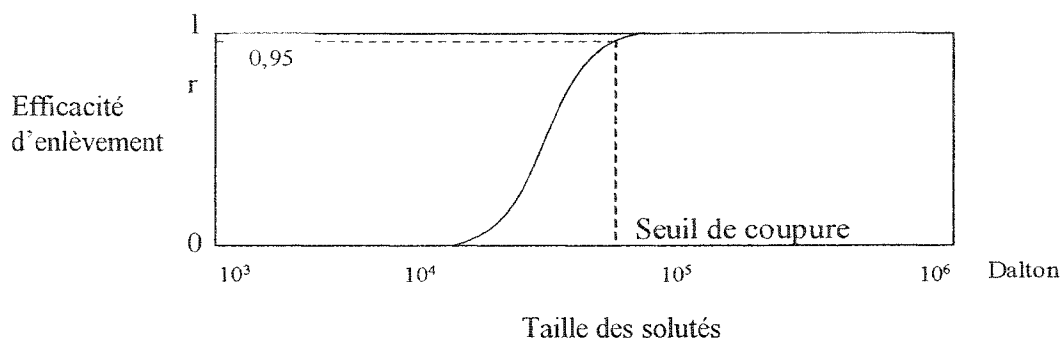


Figure 2-6 : Courbe typique de rétention pour une membrane d'ultrafiltration (Brun, 1989)

Cette courbe de rétention donne une information beaucoup plus précise que le seuil de coupure seul. Elle permet de situer la performance de la membrane face à un problème donné. L'allure et la position de la courbe dépendent de nombreux facteurs comme l'hétéroporosité, la polarisation de concentration et la pression d'ultrafiltration. Le seuil de coupure sera déterminé en déterminant la masse moléculaire du premier soluté qui sera retenu à 90% et plus (Brun, 1989). La rétention est le rapport amont/aval des concentrations en soluté retenu : (équation 5).

$$r = 1 - c_j''/c_j' \quad (5)$$

où r (sans unités) est la rétention, c_j'' (mg/L) la concentration en soluté du côté aval, c_j' (mg/L) la concentration en soluté du côté amont.

2.2.6.2. Pression

Agissant aussi bien sur le flux que sur la rétention, la pression constitue aussi un paramètre important en ultrafiltration. Son action sur le flux membranaire dans une solution homogène est habituellement prévisible : linéaire aux faibles pressions, elle tend à atteindre un plateau vers les 200 kPa, dépendamment de la nature et la charge de l'effluent. L'accumulation de solutés à l'interface membranaire expliquerait la non-linéarité de la courbe. En effet, il existe deux théories concernant cet effet : *1-formation de gel* : cette hypothèse suggère qu'une sorte de précipitation de sels se produise dans la couche limite, régulant le transport du soluté comme une deuxième membrane, et *2- modèle osmotique* : en augmentant la quantité de soluté dans un très petit volume, on se trouve à concentrer à l'extrême des solutés qui, sans précipiter, auraient un impact majeur sur la perméation de solvant. Cette membrane dynamique possède un potentiel osmotique ainsi qu'une viscosité tellement importants qu'elle peut agir comme une membrane physique.

2.2.6.3. Colmatage

Des efforts substantiels ont été fournis dans les dernières décennies afin d'élucider l'effet de différents paramètres sur la diminution des flux membranaires. De grandes

quantités de données ont été accumulées, mais il reste beaucoup de travail à faire avant de comprendre tous les mécanismes du colmatage membranaire. Les premiers travaux ont présenté des modèles de blocage des pores et de formation du gâteau, qui ont été suivis de plusieurs autres modèles (Brun, (1989) ; Zeman *et al.* (1996) ; Song, (1998) ; Fu *et al.* (1998)). Une courbe typique du flux de perméat en fonction du temps est présentée à la figure 2-7 :

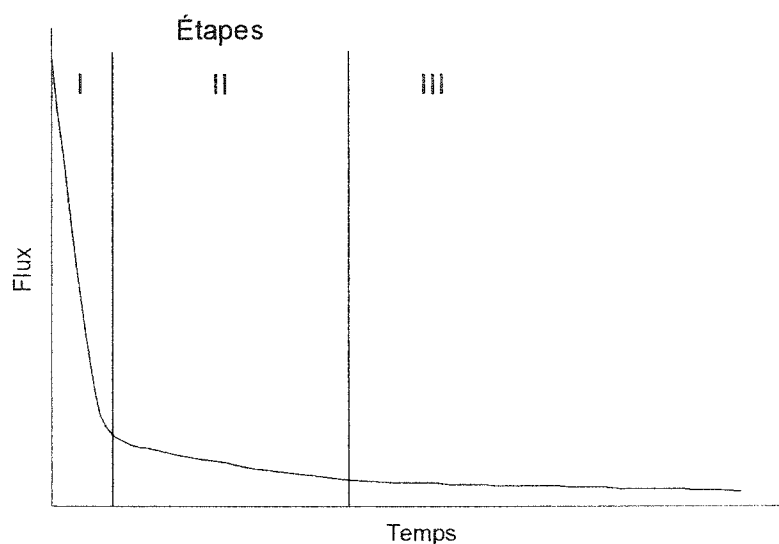


Figure 2-7 : Étapes de la réduction des flux membranaires (Adapté de Song, 1998)

Une forte diminution des flux au début (étape I) est suivie d'un stade intermédiaire (étape II) où la pente se stabilise, puis d'une dernière étape de régime permanent (étape III). Dans la plupart des expériences, on ne peut observer que l'étape II, l'étape I étant trop courte et l'étape III trop longue à atteindre ou les conditions requises non-réunies (Song, 1998).

Comme mentionné précédemment, ce qui crée la diminution des flux membranaires est l'augmentation de la résistance de la membrane de filtration, découlant de la formation d'une membrane dynamique. Les premiers mécanismes à survenir en filtration sont le blocage des pores et la formation du gâteau. La plupart des autres mécanismes, comme l'adsorption de soluté, dépôt de particules à l'intérieur des pores de la

membrane et changements dans les caractéristiques physiques du gâteau affectent la membrane par l'intermédiaire de ces deux mécanismes fondamentaux. La polarisation de concentration peut également créer un obstacle additionnel, mais de moindre importance que ces deux phénomènes (Brun, 1989).

Le blocage des pores survient très tôt, étant donné qu'il ne requiert qu'une couche de particules déposées sur la membrane pour avoir un effet. La proportion de pores obstrués est dépendante de la quantité de matières en suspension, ainsi que de la taille et de la forme de ces dernières. Par la suite, une autre diminution dans les flux de perméat peut avoir lieu avec l'apparition et la croissance du gâteau. Finalement, une couche de polarisation peut se former, et, lorsqu'elle atteint une certaine concentration, elle peut former un gel si les conditions le permettent.

Une certaine pression critique doit être atteinte afin de retenir les particules à la surface de la membrane, sinon les forces de diffusion permettront aux particules de retourner dans la solution-mère. L'épaisseur du gâteau risque d'augmenter avec la pression, une plus grande épaisseur de gâteau étant alors requise afin d'absorber l'effet de tassement (Song, 1998). La cause fondamentale du colmatage serait le dépassement de la pression critique en UF, cette pression faisant en sorte que les particules en suspension aient une énergie libre plus importante que celles à la surface de la membrane, et tendent à

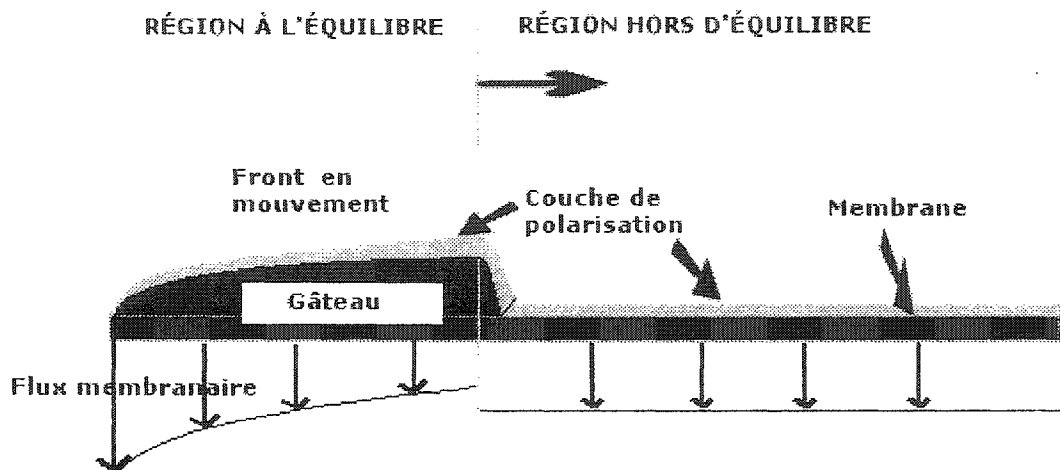


Figure 2-8 : Front du gâteau et de la couche de polarisation. (Adapté de Song, 1998)

s'accumuler. Le colmatage est donc un moyen pour le système d'atteindre l'équilibre à partir d'une condition hors d'équilibre. Selon Song, (1998), l'équilibre sera atteint dans la première section amont, puis s'étendra au reste du canal d'écoulement comme un front (figure 2-8). Alors que l'épaisseur du gâteau restera constante dans la région à l'équilibre, elle augmentera graduellement dans les régions qui ne sont pas encore dans un état stable. Il a été suggéré que seulement une fraction des particules attirées vers la membrane s'y déposeront (Song, 1998). Les flux membranaires sont supérieurs à l'entrée de la membrane (gauche), puisque les particules n'arrivent pas à s'agglomérer à l'entrée de la membrane. Par contre, à mesure que l'épaisseur du gâteau de filtration augmentera, la résistance sur les parois augmentera, causant le dépôt de particules. Celles-ci seront entraînées par l'écoulement tangentiel jusqu'à la région aval où un équilibre commence à s'établir.

2.2.7. Réduction du colmatage

Le principal problème dans ce cas étant le colmatage, et étant donné la nature du liquide à traiter, il faudra donc mettre l'accent sur des méthodes de réduction de ce blocage. Selon Brun, (1989), même en conditions stationnaires, le flux membranaire peut décroître régulièrement ; ce phénomène étant dû à des modifications chimiques se produisant dans la

couche limite ou le gel à la surface de la membrane. La formation de ce gel entraîne la dénaturation de certaines macromolécules dues à des conditions modifiées par rapport aux conditions de départ. Ce phénomène serait particulièrement important avec des solutions biologiques qui sont habituellement très sensibles à des variations dans l'environnement chimique (pH, force ionique et concentration en sels). Ce colmatage aurait lieu en trois étapes ; l'établissement de la polarisation de concentration, l'adsorption des macromolécules et la polymérisation de la couche adsorbée (Brun, 1989). Des phénomènes spécifiques de colmatage peuvent également avoir lieu avec des particules. L'obstruction (« plugging ») – piégeage des particules dans les pores-, obstruant entièrement son ouverture et la réduction de la taille des pores (« pore narrowing ») - qui survient lorsque des particules se collent sur la surface intérieure des pores - peuvent diminuer considérablement les performances de filtration, ainsi qu'amplifier l'effet de la couche de polarisation (Bourgeois, 2000).

Plusieurs moyens de réduction de la concentration de polarisation sont présentés à la figure 2-9.

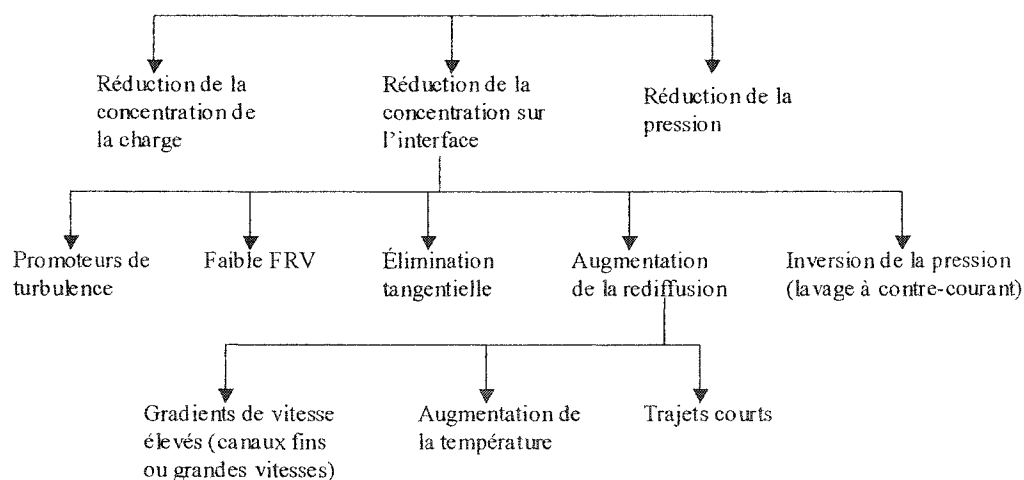


Figure 2-9 : Moyens de réduire la concentration de polarisation (Adapté de Brun, 1989)

Cette figure illustre les nombreux moyens de réduire la concentration de polarisation, et, parallèlement la formation du gâteau de filtration qui se comporte aussi comme une membrane dynamique. Parmi tous les moyens disponibles, la promotion de

turbulence a été retenue, permettant ainsi de réduire l'épaisseur de la membrane dynamique. Il reste à déterminer si cette promotion de turbulence peut avoir un effet important sur les flux membranaires, surtout dans un liquide aussi chargé que le lisier de porc.

2.2.7.1. Polarisation de concentration

La membrane d'ultrafiltration possède habituellement une structure microporeuse qui permet d'obtenir des flux membranaires importants. Cette grande perméabilité crée un mouvement du fluide qui draine vers l'interface des macromolécules qui seront difficilement re-diffusables dans le liquide à traiter étant donné leur importante masse moléculaire. Cette accumulation de macromolécules à l'interface modifie les conditions à l'interface et constitue un important obstacle à la perméation du solvant, c'est ce qui est appelé la couche de polarisation.

Une explication des phénomènes fondamentaux en cause dans la formation et le maintien de la couche de polarisation est présentée à la figure 2-10.

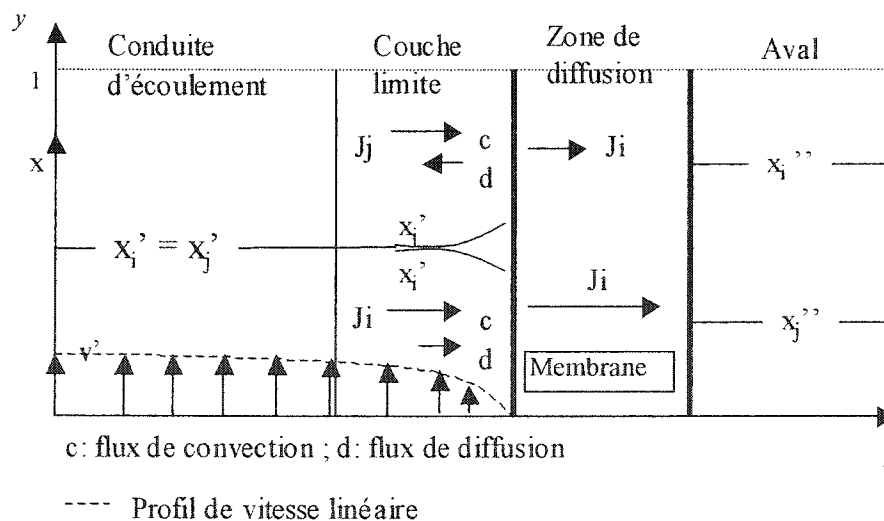


Figure 2-10 : Phénomènes de transport à la surface d'une membrane (Adapté de Brun, 1989)

où x_i (mg/L) est la concentration de l'espèce traversant la membrane, x_j (mg/L) la concentration de l'espèce retenue par la membrane, J_i le flux global de l'espèce i , et J_j le flux global de l'espèce j . Ce flux global se sépare habituellement en un flux de convection et un flux de diffusion (respectivement c et d).

Lors du traitement d'un liquide contenant deux espèces : i et j , à la limite de l'interface, un brusque changement de flux a lieu, menant à l'accumulation de l'espèce retenue par la membrane (augmentation de x_j comparativement à x_i). Son évacuation ne pourra avoir lieu que par diffusion à travers la couche limite pour retourner dans la conduite d'écoulement. L'emplacement de la couche limite correspond approximativement avec la zone d'écoulement laminaire, donc avec des vitesses d'écoulement relativement faibles, ce qui n'aide pas à sa dispersion. Le solvant se retrouve en faibles concentrations dans cette zone, gradient qui ne pourra être comblé que par diffusion à partir de la conduite d'écoulement à travers la couche limite. L'accumulation de l'espèce retenue, ainsi que le déficit du solvant diminuent la sélectivité de la membrane. Le flux de l'espèce retenue dans la membrane est inférieur à celui de l'espèce qui passe dans le perméat, et cette différence se traduit par des concentrations finales différentes dans le cas des deux espèces. Il faut noter que cet exemple illustre le cas de deux espèces qui peuvent traverser la membrane. Dans le cas d'une espèce rejetée à 99,9 % et plus, le J_j dans la membrane serait égal à zéro, tout comme la concentration finale x_j .

La diffusion à travers la membrane se fait en trois étapes bien distinctes : - adsorption à l'interface amont - diffusion transmembranaire - désorption à partir de l'interface aval. Ces trois étapes sont représentées à la figure 2-11, avec les profils de pression.

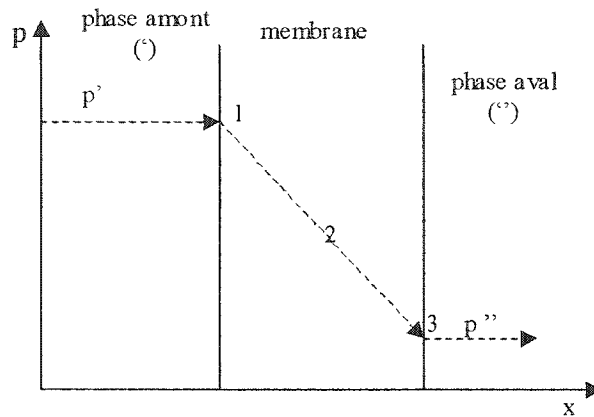


Figure 2-11 : Étapes du processus de diffusion à travers une membrane – (1) : Adsorption, (2) diffusion, (3) désorption, (Brun, 1989).

Le solvant doit alors traverser deux interfaces, et, le temps d'adsorption et de désorption étant considérés comme négligeables, c'est la diffusion qui prend le plus de temps à s'effectuer.

La membrane étant le principal obstacle à la diffusion des liquides, et cette dernière étant habituellement disposée sur un support solide, elle subira les pressions de part et d'autre. En conditions normales, la pression du liquide sera équivalente à la pression exercée par le support solide de la membrane. Entre le point 1 et le point 3, on est en présence d'un système isobare. Les forces capillaires se trouvent alors à diriger la séparation du liquide. Néanmoins, dépassé l'interface du point 3, il n'y a plus de pression exercée par le liquide, puisque la conductivité hydraulique de ce média est énorme. Par contre, la pression dans le support poreux pourrait être la même que celle dans la membrane s'il n'y avait plus de purge du perméat (Zeman *et al.*, 1996).

2.3 PROMOTEURS DE TURBULENCE

Comme il a été mentionné précédemment, l'augmentation des coefficients de transfert de masse est l'objectif de l'optimisation de l'ultrafiltration. Le principal moyen

d'arriver à cette fin est d'augmenter les forces de cisaillement, et ce à de faibles débits de circulation afin de minimiser les coûts liés au pompage. Divers moyens ont été employés dans le passé afin d'augmenter ces forces de cisaillement. La plupart des efforts récents dans l'amélioration des performances membranaires ont été mis sur des modules ayant des approches différentes.

2.3.1. Mécanique

Un système a été développé par Vigo *et al.* (2000) dans lequel une membrane étant oscillée entre 10 et 30 Hz sur quelques millimètres de distance a enregistré des améliorations des flux membranaires d'un facteur quatre. Le coût relié au pompage était très faible dans ce cas, mais la perte d'énergie mécanique reliée à l'appareil servant à la vibration est simplement colossale. Un autre module développé par Culkin et Armando, (1990) nommé « vibratory shear enhanced processing » (VSEP) consiste en une pile de membranes parallèles qui subit une rotation axiale utilisant un ressort de torsion. Les auteurs ont noté que les flux membranaires pouvaient être de un ou deux ordres de grandeur supérieurs à ceux qu'on obtient habituellement en ultrafiltration conventionnelle (Zeman *et al.*, 1996). Toutefois, son applicabilité à grande échelle est questionnable étant donné le très grand nombre de pièces mobiles, ainsi que par la quantité d'énergie requise par ce procédé.

2.3.2. Électrique

Des stratégies utilisant des potentiels électriques afin de repousser les solutés et particules de la surface membranaire ont également été utilisées à l'échelle laboratoire depuis environ 20 ans. Traditionnellement, l'anode et la cathode sont situées de part et d'autre de la membrane afin de créer un champ électrique qui chassera les macromolécules chargées de l'interface membranaire. Ces systèmes permettent d'obtenir de meilleurs flux membranaires ; par contre ils montrent une grande dépense énergétique reliée au champ électrique, ainsi que par la perte thermique due à l'effet Joule et à la dissociation de l'eau (Brun *et al.*, 1989 ; Mameri *et al.*, 2000).

2.3.3. Acoustique

Une autre étude théorique, utilisant du dextran s'est penchée sur l'utilisation d'ultrasons afin de promouvoir la turbulence et de réduire la couche de polarisation à la surface de la membrane. Les ultrasons n'endommagent pas la membrane, ni ne dénaturent le soluté, du moins pas à court terme. Ils ont augmenté de façon significative les flux de perméat en changeant les conditions hydrodynamiques du liquide. La preuve de ce dernier fait étant qu'une cellule d'ultrafiltration avec agitation vigoureuse à sa surface démontre les mêmes tendances au niveau des flux membranaires. En fait, les ultrasons formeraient des micro-bulles de cavitation qui implosent à la surface de la membrane, ce qui est l'équivalent d'un lavage à la pression « high pressure jetting ». L'oscillation de la membrane peut empêcher la formation de la couche de polarisation et du colmatage en empêchant les molécules de pénétrer les pores. Par contre, lorsque la membrane est colmatée, les ultrasons ne sont plus d'aucune utilité, et ne peuvent rétablir les flux de perméat initiaux (Simon *et al.*, 2000).

2.3.4. Lavage à contre-courant pulsé

Un procédé utilisant une méthode pulsée de lavage à contre-courant a par contre montré des résultats intéressants au niveau technique aussi bien qu'économique. Le principe est simple : pour empêcher la formation d'un gâteau et de la couche de polarisation, le liquide est filtré pendant une période de temps assez courte avant de subir une impulsion de faible durée à contre-courant. Les données de filtration ont montré une augmentation des performances de plus d'un ordre de grandeur. Même avec tous ces avantages, ce procédé n'est pas encore très utilisé (Zeman *et al.*, 1996).

2.3.5. Insertion

Dans le but d'augmenter la vitesse linéaire, ainsi que de promouvoir la turbulence, Yeh *et al.*, (2000) ont conçu un module d'ultrafiltration où une tige d'acier était insérée dans la lumière de la membrane (canal d'écoulement). L'effet de cette insertion est de diminuer le diamètre d'écoulement, et d'ainsi augmenter les vitesses obtenues pour un même débit de circulation. Il faut noter que ce type d'installation a le désavantage de créer

une perte de charge importante. C'est ainsi que des expériences ont porté sur la détermination de l'effet de l'insertion de tiges de différents diamètres sur les performances membranaires. De manière générale, selon les figures 2-12 et 2-13, il y a un impact plus important de la tige lorsque le flux est important et la concentration de dextran assez faible.

La plupart des ces essais avec insertion ont été effectués à des pressions relativement faibles (160 kPa maximum), ce qui est surprenant étant donné la gamme de pressions habituellement utilisée dans les essais synthétiques. L'utilisation de faibles pressions a peut-être été forcée, comme dans notre cas, par les pertes de charges encourues dans le système.

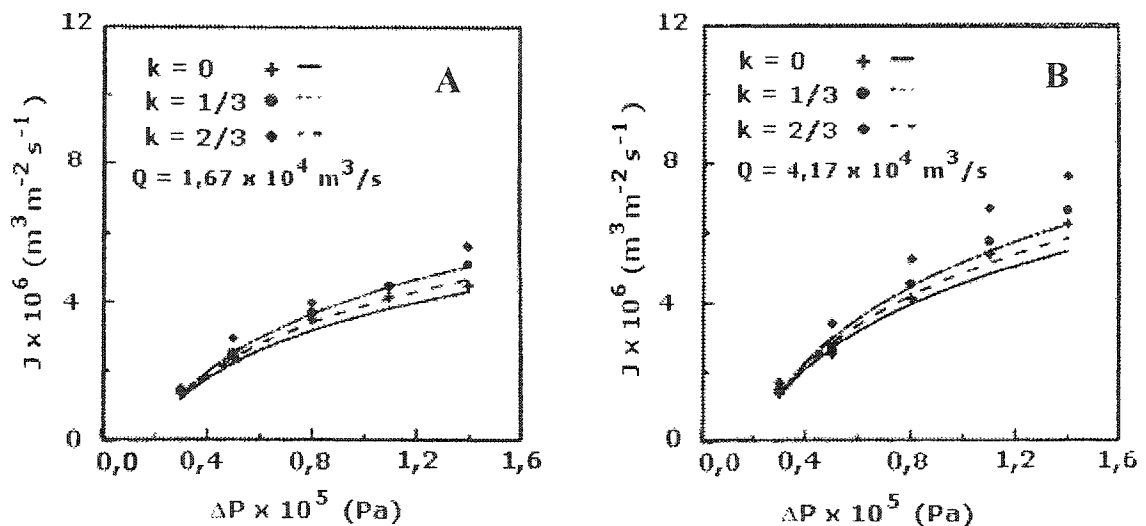


Figure 2-12 : Impact de l'insertion d'une tige sur les flux membranaires à $Q = 1,67 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ (a) et $4,17 \times 10^{-6}$ (b) à faible concentration de dextran (0,1%). (Yeh *et al.*, 2001)

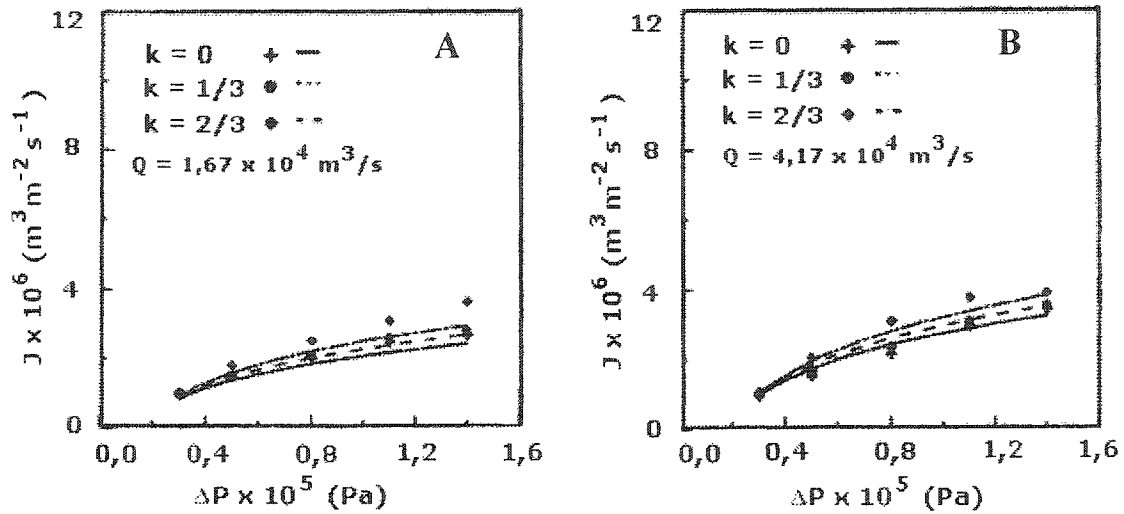


Figure 2-13 : Impact de l'insertion d'une tige sur les flux membranaires à $Q = 1,67 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ (a) et $4,17 \times 10^{-6}$ (b) et à moyenne concentration de dextran (1%). Yeh *et al.* (2001)

Dans la même étude, Yeh *et al.* (2000), en fonction des résultats expérimentaux obtenus, ont obtenu des prédictions théoriques de l'impact du pourcentage d'obstruction du canal d'écoulement sur les flux membranaires (figure 2-14).

Dans tous ces cas, il semble que le promoteur de turbulence ait beaucoup plus d'impact sur les solutions peu concentrées (a et c), et que son impact soit maximal lorsqu'il obstrue environ 90 % de la section d'écoulement, ce qui correspond à un blocage presque total. Cette dernière information porte à croire que la perte d'énergie hydraulique risque d'être élevée, et le procédé peu efficace même s'il arrive à augmenter les flux membranaires de 2 à 44 % en fonction des conditions. Finalement, il y a un gain maximal d'efficacité d'environ 23 % au niveau de la perméation membranaire pour une même consommation électrique lorsque la solution est concentrée, que le débit et la pression sont élevés. Tout ceci laisse planer un doute sur la viabilité économique du procédé (Yeh *et al.*, 2000).

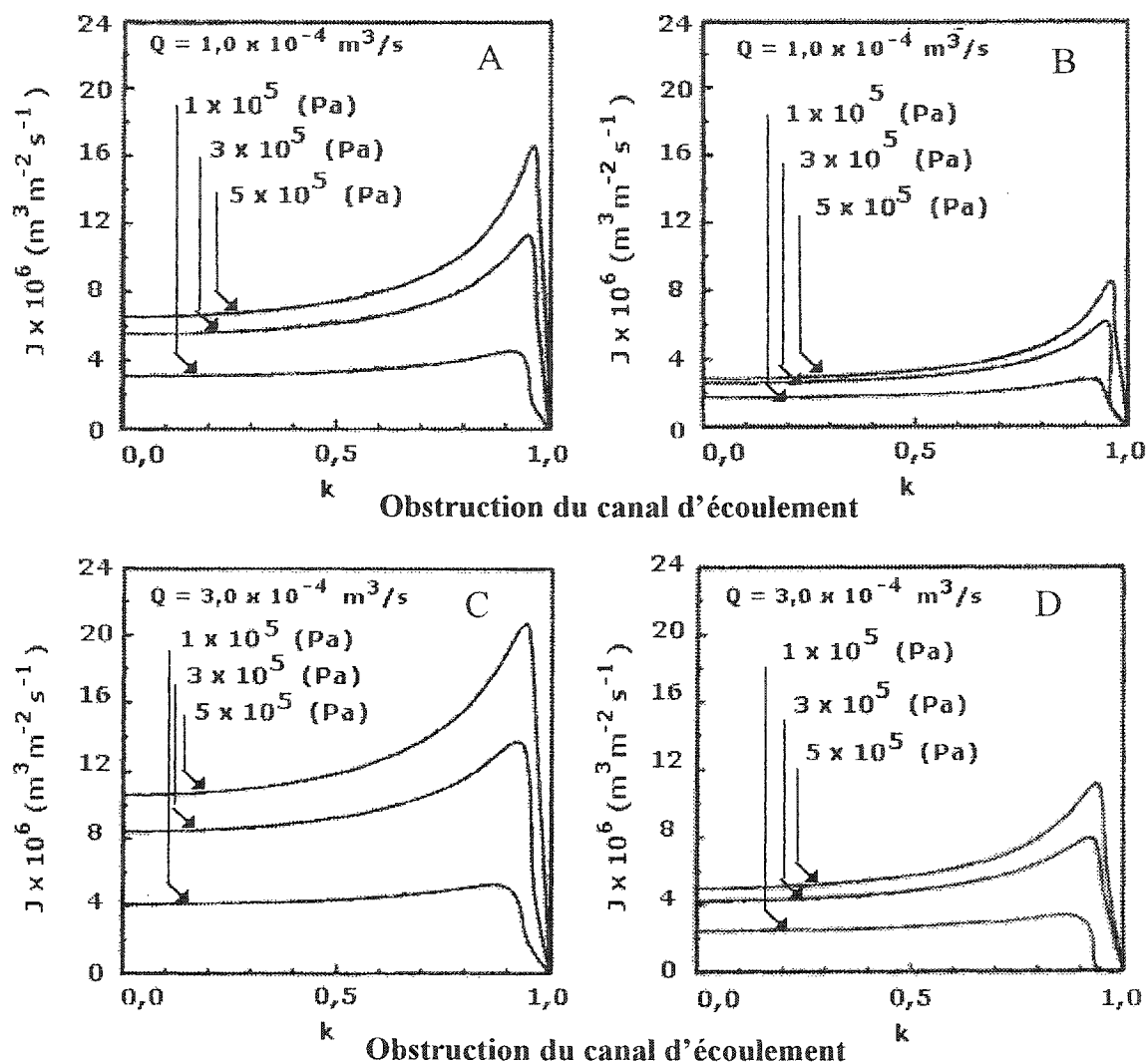


Figure 2-14 : Prédiction de l'impact du pourcentage d'obstruction du canal d'écoulement (k) les flux membranaires a) d'une solution peu concentrée de dextran à une vitesse de $1,0 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$, b) d'une solution concentrée à une vitesse de $1,0 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$, c) d'une solution peu concentrée à une vitesse de $3,0 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$, d) d'une solution concentrée à une vitesse de $3,0 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ (Adapté de Yeh *et al.*, 2000).

Dans la même veine d'insertion dans la membrane afin de promouvoir la turbulence, Yeh *et al.* (2000) ont cette fois inséré concentriquement une tige d'acier dans la membrane avec un fil d'acier enroulé en spirale autour afin de s'ajuster précisément au

diamètre du canal d'écoulement. Ce module a eu deux effets opposés : diminuer la pression trans-membranaire, diminuant donc les performances de la membrane, mais a également eu comme effet de diminuer l'importance de la couche de polarisation par une augmentation de la turbulence. Des configurations de fils d'acier utilisant divers angles ont été utilisées, et il a été trouvé qu'on pouvait augmenter les performances membranaires de près de 50 % avec une configuration spécifique. En contrepartie, la majorité des résultats montrent une diminution de l'efficacité globale de filtration (diminution de la pression transmembranaire, hausse de la dépense énergétique due à la perte de charge), ce qui semble plus susceptible de se produire (Yeh *et al.*, 2000).

2.3.6. Vortex

Un type de module avec écoulement tourbillonnant a su montrer une certaine augmentation des flux membranaires (~ 70 %) par rapport à un module plat. Par contre, comme la plupart des cas de promoteurs de turbulence, l'augmentation des coûts de pompage reste à étudier (Morineau-Thomas *et al.*, 2001).

2.3.7. Statique avec particules

Un système plus complexe de promotion de turbulence a été conçu par Oussedik *et al.* (2000) : de part et d'autre d'une membrane plane, des électrodes de titane créent un champ électrique. À la surface de la membrane se situe une feuille de métal déployé dont l'effet devrait être augmenté avec l'ajout de particules d'alumine activée (particules de 60 à 200 μm de diamètre). L'amélioration notée est principalement due au champ électrique pulsé, et non pas aux particules d'alumine. L'application de ce champ électrique permet d'augmenter les flux membranaires de presque 300 %. Par contre, une étude à long terme ne semble pas avoir été menée concernant d'autres effets de l'EUF, et son installation à grande échelle ne semble pas non plus avoir été étudiée (Oussedik *et al.* 2000).

2.3.8. Autres

L'injection de bulles d'air directement dans le canal d'écoulement peut également créer de la turbulence. Cette méthode a montré qu'une augmentation d'environ 10 % des flux membranaires peut être atteinte. Encore ici, l'élément économique semble difficile à

rentabiliser étant donné les coûts reliés à l'injection d'air dans une conduite pressurisée (Oussedik *et al.*, 2000).

2.4 ANALYSE ÉCONOMIQUE

Les analyses économiques présentées dans la littérature sont souvent incomplètes ou ont été effectuées sur le traitement de l'eau potable ou d'eaux usées très peu chargées, comme l'affluent des stations d'épuration d'eaux usées. Une revue de ces études sera tout de même présentée afin d'avoir une idée des coûts impliqués, et si possible de la méthodologie employée.

Une analyse économique sommaire sur les coûts d'opération d'une station de traitement de l'eau potable fonctionnant uniquement avec l'UF, a montré que l'ultrafiltration, dépendamment du type de membrane utilisé, coûte entre 43,7 et 84,3 \$US/ML Foot *et al.* (2000). Ceci est faible si on le compare aux coûts résultants d'un traitement classique (flottation à air dissous, filtration et désinfection) qui est d'environ 94,4 \$US/ML. L'économie se fait principalement sur l'énergie et sur les produits chimiques. Toutefois, un facteur qui pourrait venir bouleverser les cartes est le coût d'amortissement. Ce dernier n'a pas été comptabilisé et risque d'être élevé pour une unité de traitement par membranes (Foot *et al.*, 2000). Il faut noter que les techniques à membranes arrivent à atteindre des coûts d'opération faibles lorsque les surfaces membranaires, donc la taille du système, sont très grandes.

Afin d'évaluer le coût de fonctionnement d'une cellule d'ultrafiltration sur le traitement d'effluent d'abattoirs, Belhocine *et al.* (1998) ont utilisé la relation suivante :

$$K = K_c A + K_p Q_v \Delta P_f + K_p Q_w \Delta P \quad (6)$$

où K (\$US) est le coût total, $K_c A$ (\$US $m^{-2} s^{-1} * m^2$) le coût d'investissement, proportionnel à la surface membranaire « A », $K_p Q_v \Delta P_f$ (\$US/J $*m^3 s^{-1} * Pa$) le coût énergétique encouru par la perte de charge de la solution circulant à débit Q_v (m^3/s) dans le module, et $K_p Q_w \Delta P$ (\$US/J $*m^3 s^{-1} * Pa$) le coût énergétique encouru par la résistance de la

membrane au flux de perméat Q_w . Le coefficient K_p est relié au prix de l'électricité et le coefficient K_c est surtout dépendant du coût et de la durée de vie de la membrane. Les coefficients utilisés dans cette étude sont : $K_p : 3,71 \cdot 10^{-9} \text{ \$/J}$ et $K_c 8,6 \cdot 10^{-6} \text{ \$m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Le K_c pourrait être surévalué étant donné que le prix des membranes utilisé pour ce calcul est de $500 \text{ \$/m}^2$, alors qu'actuellement le prix estimé est de $200 \text{ \$/m}^2$. Toutefois, le type de membrane utilisé dans cette étude offre très peu de surface membranaire par rapport au volume de module nécessaire à son support, ainsi le coût pourrait être plus élevé. Il est à noter également que ce calcul ne s'applique qu'à la cellule d'ultrafiltration, et que d'autres études doivent être effectuées afin d'évaluer le coût de tous les accessoires autour de la membrane : pompes, automatisation, produits chimiques, etc. Pour obtenir un coût global de fonctionnement de la cellule par mètre cube, le coût global a été divisé par le débit de perméat (K/Q_w).

Généralement, la vitesse de recirculation aura un effet bénéfique sur l'ultrafiltration, jusqu'à un point d'inflexion où le bénéfice d'une augmentation de vitesse de recirculation sera dépassé par l'augmentation de la perte de charge. Plusieurs paramètres de l'ultrafiltration peuvent être optimisés grâce à la détermination du coût d'exploitation.

2.5 PARAMÈTRES DE CONCEPTION.

De façon générale, plusieurs informations sont requises afin de faire une conception de système qui est adaptée à la réalité. Parmi ces informations figurent le volume de liquide à traiter quotidiennement, les critères de traitement visés, le facteur de concentration volumique visé, le mode opératoire utilisé, la fréquence des lavages, la durée de l'opération du système, la température du liquide à traiter.

Une relation toute simple qui pourrait être utile permet de faire une évaluation globale de la surface membranaire requise en fonction de paramètres simples. L'équation (7) est la forme la plus simplifiée de calcul de cette surface membranaire :

$$A = \frac{V_o - V_f}{T * J_{moy}} \quad (7)$$

Dans cette équation, A (m²) est la surface membranaire requise, V_o (L) est le volume de liquide à traiter, et V_f (L) est le volume de concentrat. T (h) est le temps visé pour l'opération, et J_{moy} (L m⁻² h⁻¹) est le flux membranaire moyen approximatif tout au long de l'opération (Brun, 1989).

CHAPITRE 3

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Ce chapitre expose la méthodologie appliquée dans cette étude. La première section indiquera comment les prélèvements de lisier de porc ont été effectués. Les sections 3.2 et 3.3 décriront le montage expérimental et le mode de fonctionnement du module en ultrafiltration, électro-ultrafiltration ainsi qu'en couplage ÉÉ-UF. Une brève description de la méthodologie utilisée lors des essais de couplage est présentée en 3.4, et finalement la section 3.5 détaille les méthodes analytiques employées.

3.1 Affluent : prélèvements

Le but initial du projet était d'effectuer le polissage de l'effluent du filtre à lit ruisselant (FLR), un procédé biologique à lit fixé d'enlèvement de l'azote, (figure 3-1) et d'en assurer entre autres la réduction des concentrations de phosphore et l'hygiénisation. Par la suite, le mandat a été élargi afin d'étudier la faisabilité d'un court-circuitage du procédé biologique par un procédé physico-chimique considéré comme plus stable.

Au cours de cette étude, le lisier utilisé provenait principalement du Centre d'excellence en production porcine (CEPP). Le tableau 3-1 présente un calendrier des différents arrivages, ainsi que des types de lisiers prélevés. Les essais ont utilisé, dans la mesure du possible, le lisier le plus récent afin de minimiser l'effet du vieillissement anaérobie dans la chambre froide où les effluents étaient entreposés.

Afin d'étudier l'impact d'un vieillissement du lisier sur le fonctionnement de l'UF et de l'EUf, du surnageant de fosse à lisier a été prélevé. Ce dernier, ayant subi une très longue décantation ainsi qu'une digestion anaérobie, devrait avoir une charge en matières en suspension, ammoniacale plus faible que le lisier provenant directement de la ferme (points d'échantillonnage A et A').

Une longue digestion pouvant entraîner une hydrolyse du phosphore particulaire, en plus d'affecter la charge en matière organique, il était impératif de comparer la composition et la traitabilité du lisier tamisé (tamis tangentiel de 500 μm , presse à vis de 1 mm, puis décantation dans le bassin d'égalisation) avec celle provenant du surnageant d'une fosse (point C de la figure 3-1).

Ayant subi un dégrillage sur un tamis tangentiel de 500 μm , puis un certain vieillissement dans le décanteur, le lisier tamisé aura des caractéristiques différentes d'un lisier frais filtré immédiatement sur un filtre de type Filtramat (filtre de 300 μm puis 500 μm). C'est dans ce dernier type de lisier qu'a été observée la plus forte charge en matières en suspension, et dont la traitabilité a été questionnée ($\sim 50 \text{ g/L MES}$) (point B). Le Filtramat est un procédé de filtration avancé qui a remplacé le tamis tangentiel, la presse à vis et le décanteur. L'effluent de ce Filtramat a servi de liquide de remplacement au lisier tamisé vers la fin des essais.

Le traitement de l'effluent du FLR, faisant partie des objectifs initiaux, a également été effectué, même si certaines questions ont été soulevées sur la rentabilité de l'installation des procédés membranaires en aval des deux procédés biologiques. Le surnageant du bassin de reprise (point D de la figure 3-1) est donc ce qui devrait être poli et rejeté au cours d'eau ou réutilisé dans la porcherie selon la filière actuellement installée au CEPP. Le principal défi au niveau du rejet au cours d'eau à cette étape est le phosphore soluble, alors que dans le cas de la réutilisation dans la porcherie, c'est plutôt l'hygiénisation qui est importante à effectuer.

C'est justement suite à cette réflexion sur la rentabilité du procédé qu'on a songé à coupler la filtration par membranes à un procédé électrochimique pour court-circuiter le

procédé biologique : le procédé électrochimique devrait diminuer la charge en matières en suspension et abattre les concentrations de phosphore soluble pour la filtration, qui permettrait d'abattre les matières en suspension et d'hygiéniser l'effluent (voir SECTION 3.3, couplages).

3.2 Montage expérimental

3.2.1. Montage d'UF

Le montage utilisé était basé sur un module d'ultrafiltration tubulaire d'un diamètre intérieur d'environ 2,54 cm (1 po.). Une vue externe du montage est présentée à la figure 3-2, un schéma d'écoulement hydraulique en 3-3 et une photo de face en 3-4. Sur la figure 3-4, on note la disposition des deux gros bassins de procédé en acier inoxydable. Le bassin de droite est le bassin de perméat de l'UF, alors que le bassin de gauche sert de bassin de concentrat (5). La membrane d'UF est enchâssée dans un tube de plastique blanc, comme représenté en (1). Normalement, comme le montre la figure 3-2, une pré-filtration de 200 μm devrait être effectuée en amont de l'ultrafiltration afin d'empêcher l'ajout de grosses particules qui pourraient endommager la membrane. Cette étape n'a pas été suivie étant donné que les particules présentes dans le lisier ne semblent pas trop abrasives. La boîte à la droite (4), toujours de la figure 3-4 contient l'équipement servant à faire varier la vitesse de rotation de la pompe d'UF (en variant la fréquence du courant induit dans la pompe), et c'est ce qui permet de varier en même temps la vitesse de recirculation et la pression. En effet, le système ne possédant qu'une seule pompe, la pression doit être créée par étranglement. La vanne (3) servant à créer la pression est la vanne entourée d'un disque blanc au centre de la figure. Les autres vannes n'ont pas été utilisées lors de l'opération du système.

3.2.2. Montage de NF

Le montage de nanofiltration est placé directement à côté du module d'ultrafiltration (figures 3-2, 3-3, 3-4), puisqu'il requiert un pré-traitement de ce dernier pour pouvoir opérer. Le perméat de l'ultrafiltration sert donc d'affluent pour la

nanofiltration (membrane identifiée en (2)). La surface membranaire ($\sim 2 \text{ m}^2$), ainsi que les flux étant supérieurs en à ceux de l'ultrafiltration, ce système ne pourra fonctionner en continu avec l'UF et devra opérer en cuvées. Dans ce système, la vitesse de rotation de la pompe est fixe, et la pression est créée par étranglement comme en UF, ce qui fait que seule la pression sera variable sur ce système. L'optimisation des conditions opératoires sera d'autant plus simple qu'aucun moyen d'évaluation de la vitesse de recirculation n'est disponible. Étant donné la problématique, peu d'essais ont été effectués avec ce système.

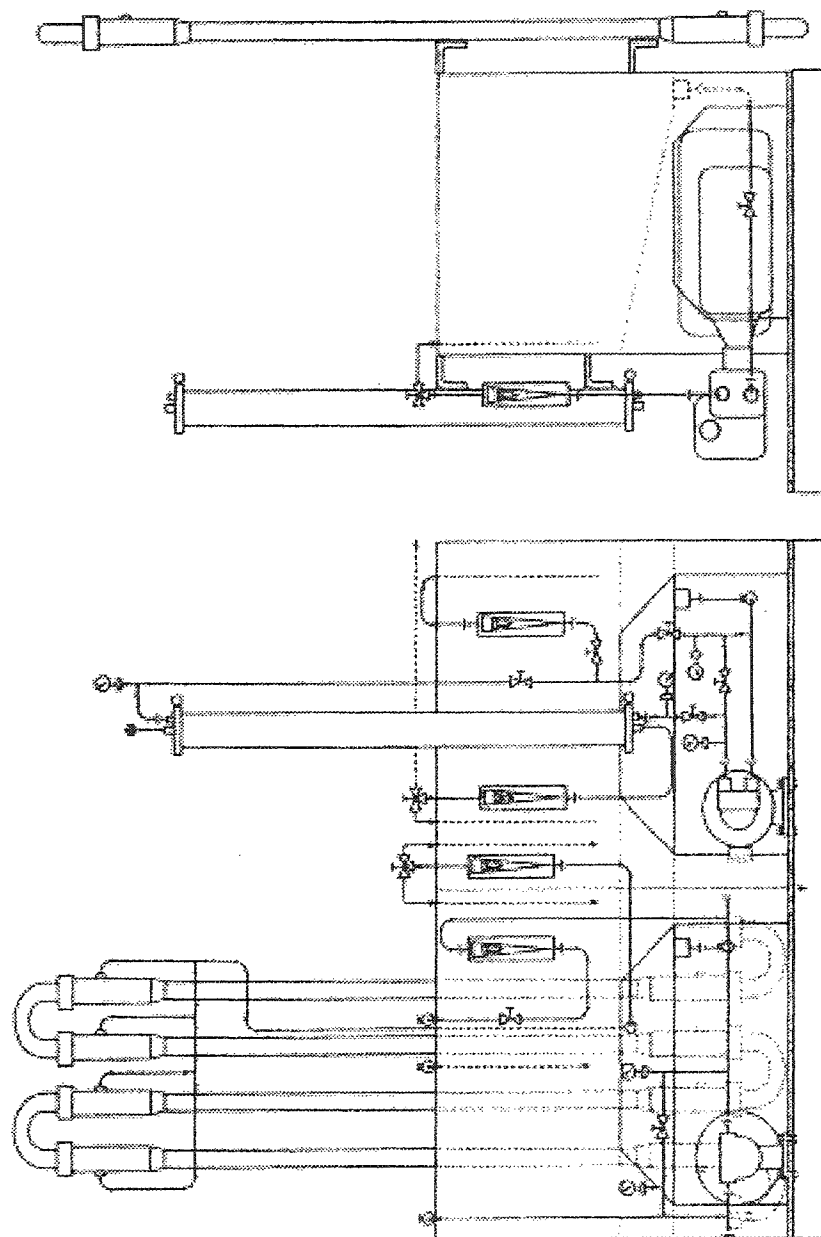


Figure 3-2 : Vue externe du système de filtration membranaire (UF et NF)

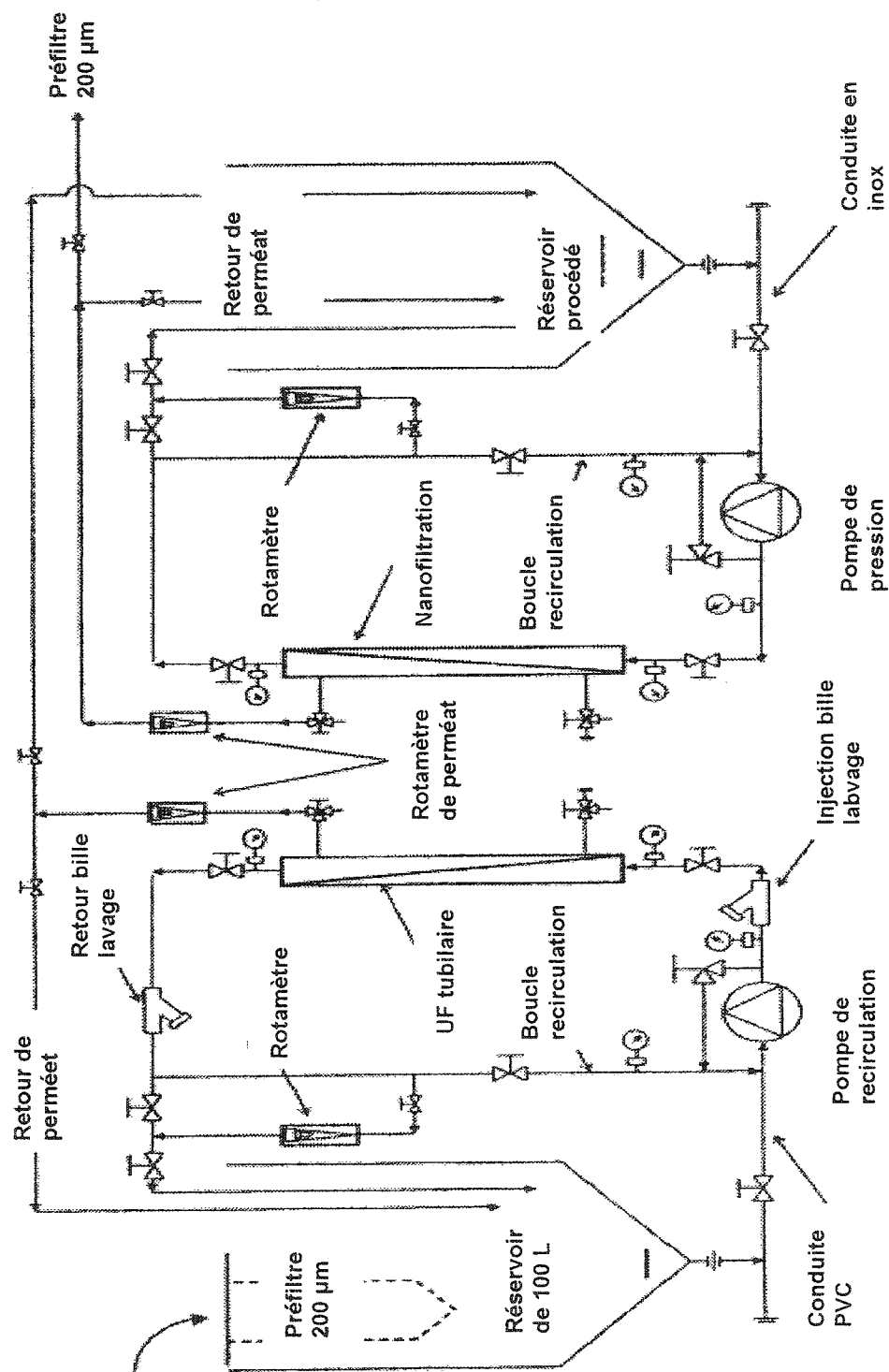


Figure 3-3 : schéma d'écoulement hydraulique du système de filtration

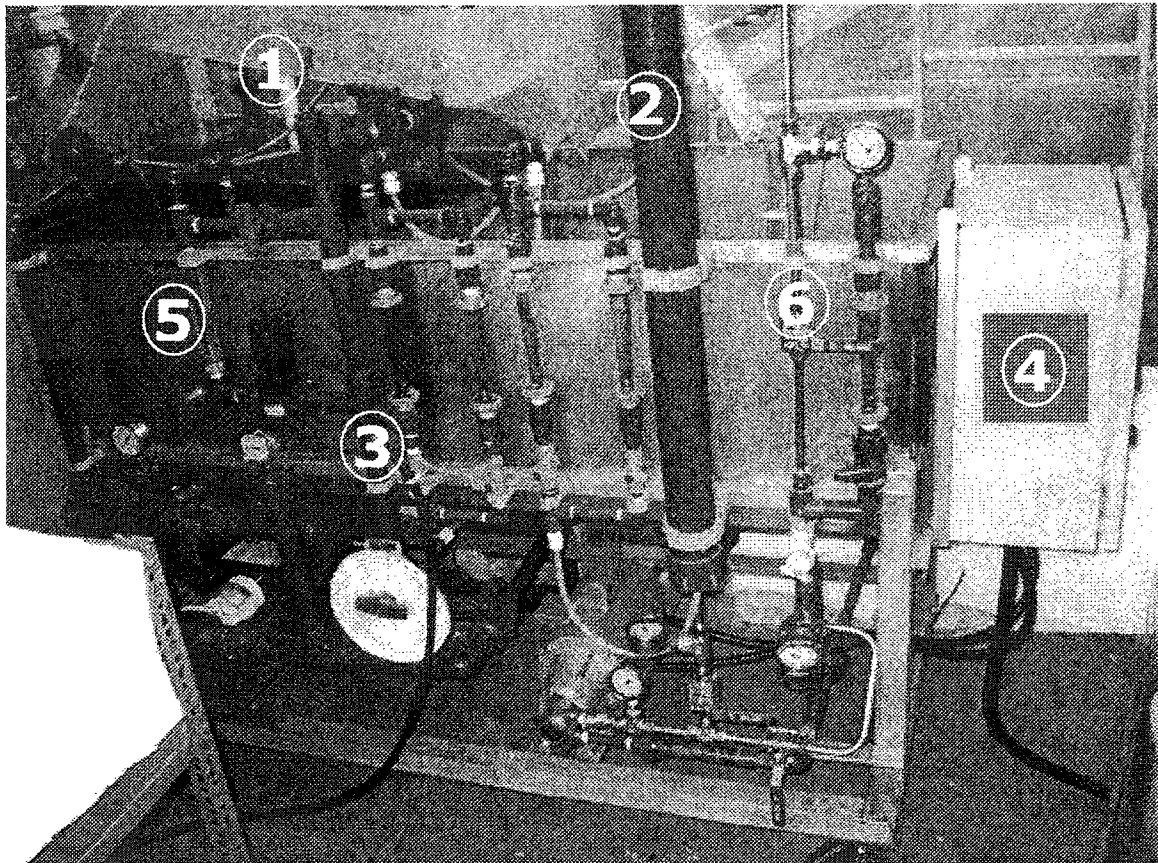


Figure 3-4 : Montage d'ultrafiltration. 1- Membrane d'UF, 2- Membrane de NF, 3- Valve de contrôle de la pression, 4- Appareillage de contrôle de la vitesse de la pompe, 5- Bassin de concentrat, 6- Bassin de perméat

3.2.3. Description détaillée

Le montage d'ultrafiltration était initialement prévu pour utiliser quatre membranes en série (figure 3-2), mais l'étude se voulant comparative de l'UF/EUF, en plus d'une phase d'optimisation, ce nombre de membranes n'était pas souhaitable.

Une modification a été apportée au montage afin de permettre l'insertion d'une tige à l'intérieur de la membrane d'ultrafiltration. Ce procédé d'ultrafiltration modifié sera appelé « électro-ultrafiltration » ou EUF. Cette modification a impliqué l'ajout de deux supports en PVC, d'un tube de 1,91 cm de diamètre en inox (cathode), ainsi que d'une tige

en acier centrale (anode soluble). La première série d'essais en électro-ultrafiltration a utilisé une tige d'acier centrale de 1,27 cm de diamètre, alors que la deuxième une tige de 0,48 cm en acier inoxydable en raison de problèmes de colmatage notés lors de la première série. L'Annexe II présente le montage d'électro-ultrafiltration. Le tube de 1,91 cm de diamètre, ainsi que la tige en acier étaient reliés à une source de courant afin de permettre une hydrolyse du fer et une formation de micro-bulles, servant entre autres à la promotion de turbulence (voir chapitre II). Le fer ainsi hydrolysé réagirait avec le phosphore afin de précipiter les phosphates solubles sous forme insoluble.

3.2.4. Spécifications du système

Pompes :

- Pompe d'UF, moteur de 5 HP (220 V) - impulseurs flexible en néoprène.
- Pompe de NF, moteur de 1 HP (220 V)

Débitmètre :

- Débitmètre Doppler
- Modèle : DFM-IV
- Fabricant : GreyLine
- Précision : ~2 % en conditions optimales (selon le fabricant)
~10 % en eaux usées (comm. verbale Michel Perrier, 2001).

Membranes :

Ultrafiltration

- Modèle : 5-HFM-251-FNO
- Fabricant : Koch membrane systems
- Composition : PVDF (Polyvinylidene fluoride)
- Seuil de coupure : 100 000 Daltons
- Dimensions : 152 cm x 1,85 cm de diamètre intérieur
- Surface : ~ 0,1 m²

Nanofiltration

- Cartouche modèle TFC 2540S
- Fabricant : Koch membrane systems
- Surface = 2,3 m².
- Seuil de coupure : 350 Daltons

pHmètre : Hanna Instruments modèle HI 8614 L

Thermomètre Fisher Scientific modèle 15-077-9E

Bassin refroidissant : modèle RC20T de Lauda relié à un serpentín de cuivre de 3 mètres de longueur par 0,5 cm de diamètre.

Contrôleur de température : OMRON E5CS-X

3.3 Fonctionnement du module d'UF et d'EUF :

Le module d'ultrafiltration a été utilisé selon le mode cuvée (« batch »). Ceci s'explique par les volumes de lisier disponible, ainsi que par l'équipement employé. Le module n'ayant pas été conçu pour permettre une cuvée modifiée (« feed and bleed »), aucune automation n'était disponible. Le mode cuvée a été employé avec recirculation du perméat (aucun effet de concentration) afin d'étudier le comportement de l'ultrafiltration à concentration constante, et avec extraction du perméat, afin d'étudier les phénomènes associés avec la concentration d'une solution dans le temps.

Lors des essais, le lisier était sorti de la chambre froide à 4°C, puis laissé à température ambiante afin de permettre au liquide d'atteindre la température de la pièce. Un contrôle des odeurs a dû être effectué étant donné la nature du liquide à traiter. La puissance du surpresseur de hottes du laboratoire a été augmentée, en plus d'aménager une pièce complète en pression négative pour contenir tous les équipements traitant du lisier de porc. Une photo de cette chambre est présentée à la figure 3-5. La structure a été montée en bois et recouverte de polyéthylène afin de contenir les odeurs et de limiter les fuites d'air. Un couvercle relié à un tuyau flexible pouvait également s'ajuster sur le dessus des bassins de procédé, permettant d'évacuer les odeurs directement dans la hotte.

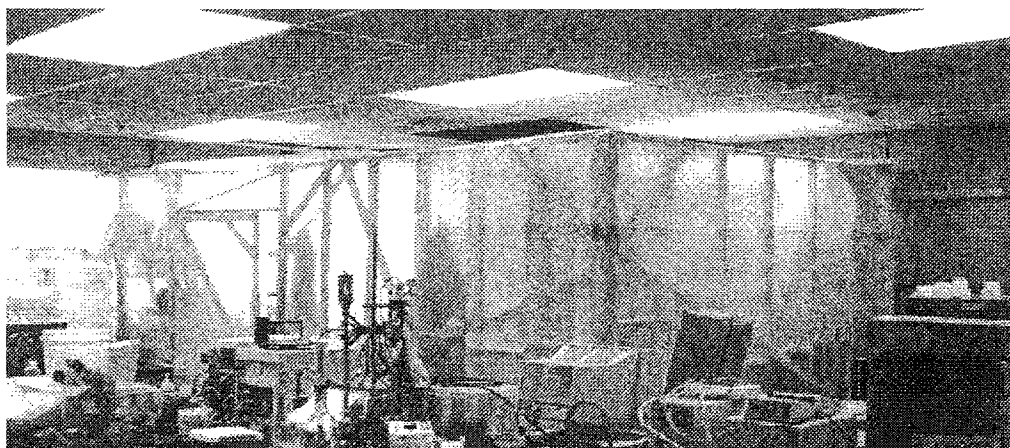


Figure 3-5 : Enceinte maintenue en pression négative utilisée lors des essais

Le lisier était ensuite versé dans la cuve de procédé d'UF. Ceci était suivi d'une purge de l'eau résiduelle dans les conduites puis d'une circulation à faible vitesse du lisier dans le module afin d'effectuer une bonne homogénéisation avant de débiter l'essai.

Les essais d'optimisation requérant une variation de vitesse et de pression étaient habituellement faits par augmentation de la vitesse de rotation de la pompe, compensée par un étranglement afin d'atteindre la pression voulue. Dans la première phase (octobre 2000 à octobre 2001), les pressions et vitesses étaient étudiées de façon séquentielle et croissante. Par contre, avec l'analyse de plusieurs résultats d'expérimentation, il a été noté que l'utilisation des pressions croissantes et des vitesses décroissantes permettait d'éviter certaines aberrations de lecture qui sinon se produisaient au début des essais.

La nanofiltration n'ayant été expérimentée qu'à quelques reprises, ainsi que le caractère des essais ont fait en sorte que peu de lectures ont été effectuées lors de ces essais.

La figure 3-6 présente les différents points de collecte des données lors de la plupart des essais.

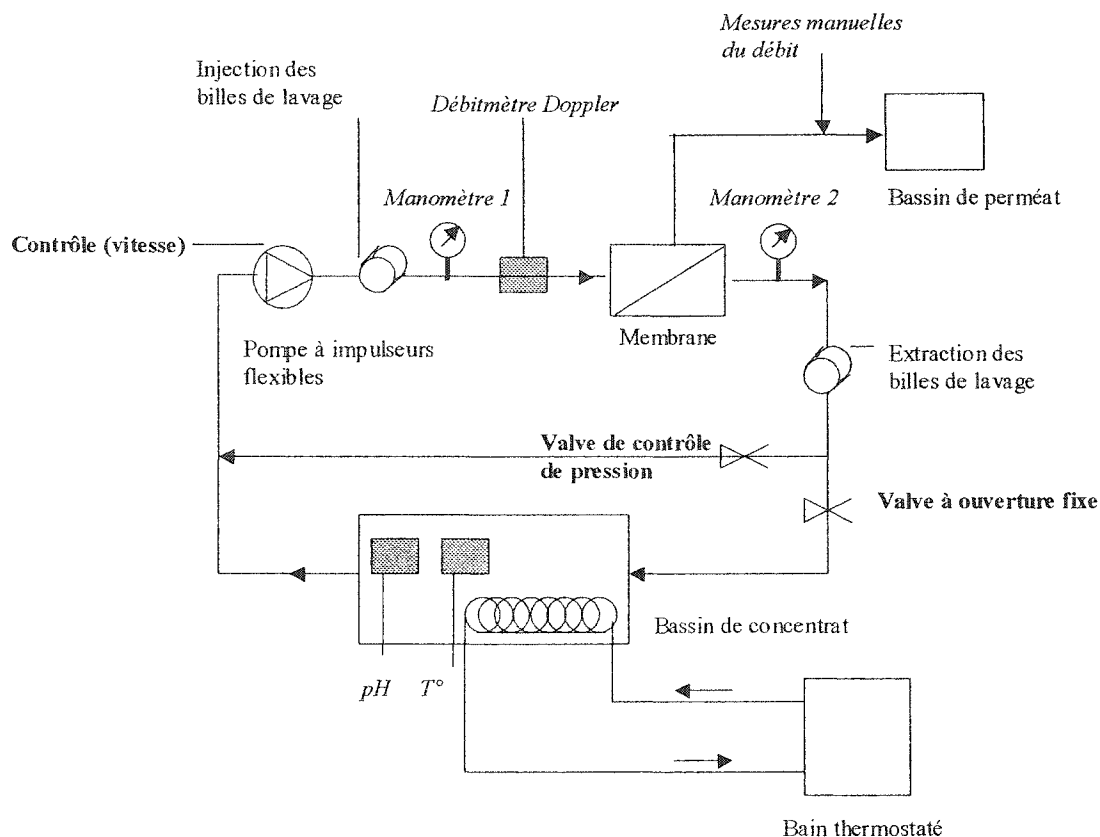


Figure 3-6 : Montage d'ultrafiltration, ainsi que l'emplacement des différentes sondes.

Le tableau 3-2 résume les conditions d'opération courantes et les plages observées pour différents paramètres.

Tableau 3-2 : Paramètres d'opération de l'UF

Paramètre	Unité	Valeur
Volumes d'opération	L	20-60
Pressions	kPa	50-300
Débits d'opération typiques	L/min	10-80
Température	°C	10-35
Durée d'opération (concentration)	h	2-25
pH	-	6,0 – 9,0

Lors de la première phase expérimentale, les premiers résultats étaient plutôt orientés vers la détermination des paramètres d'opération optimaux, alors que la seconde

phase était plutôt concentrée sur la détermination des performances de la membrane dans les conditions optimales. Aucun contrôle du pH n'a été effectué lors des essais, étant donné la faible variation de ce dernier, ainsi que son faible impact sur l'efficacité de filtration aux valeurs mesurées. Comme mentionné précédemment, un contrôle manuel des différents paramètres d'opération (T° , pression, débit de recirculation, ...) a dû être effectué. Il faut également noter que les lectures de débit de recirculation n'ont pu être disponibles qu'à partir de la fin mai 2001, date où a été installé le débitmètre Doppler. Ceci handicape beaucoup les données recueillies jusqu'à cette date, et c'est pourquoi des expériences ont dû être reprises par la suite.

L'EUF a été opérée de façon identique à l'UF à quelques détails près. Lors de la plupart des essais, la gamme de pressions étudiées était plus mince étant donné l'augmentation rapide des pertes de charge engendrées par une augmentation de la vitesse. Les pressions les plus élevées n'ont pu être étudiées étant donné les grandes vitesses qu'ils nécessitent afin d'être générées. Certaines interruptions dans l'opération de l'EUF ont dû être effectuées afin de permettre au lisier de baisser de température (effet Joule dû aux électrodes). Il a été difficile de maintenir un voltage et une densité de courant électrique constants avec le générateur, en plus d'avoir un encrassement des électrodes qui faisait chuter la densité de courant électrique. Pour le reste, l'EUF a été opérée exactement de la même manière que l'UF, et les essais, dans la mesure du possible portaient sur les mêmes aspects.

3.4 Essais de couplage

Comme mentionné dans la section 3.1, des essais de couplage d'un procédé électrochimique et d'un procédé d'ultrafiltration ont été effectués. Lors de ces essais, l'enlèvement du phosphore total et soluble était l'objectif principal puisqu'on connaît la fiabilité des membranes pour ce qui est de l'enlèvement des matières en suspension, ainsi que des organismes pathogènes (bactéries, protozoaires, etc). Dans le cas d'un enchaînement UF-ÉE, un volume de lisier était traité par ultrafiltration aux conditions

optimales afin de produire le volume maximal de perméat. Ces essais permettaient également de collecter des informations sur les performances de l'UF en mode de concentration. Dans les 24 h suivant la fin de l'essai, le perméat était transféré dans le bassin de procédé de l'électro-épuración grâce à une pompe péristaltique. Le traitement avait alors lieu, et les échantillons étaient recueillis dans le surnageant du bassin ayant subi préalablement une décantation de 30 à 45 minutes.

Lors d'essais d'ÉE-UF, l'effluent de l'électro-épuración était collecté dans un grand bassin, puis décanté pour une période d'environ 45 minutes avant d'être transféré dans le bassin de concentration d'UF, toujours avec une pompe péristaltique. À ce moment, l'essai d'ultrafiltration débutait et se prolongeait sur une durée maximale afin de pouvoir observer l'effet d'hydrolyse du phosphore en fonction du temps.

Une vision d'ensemble des différentes expériences en fonction des types de lisier est présentée au tableau 3.3.

Tableau 3-3 : Expériences effectuées sur les différents types de lisiers

Nature du lisier	Symbole	Dates	Essais					
			UF	UF + ÉE	ÉE + UF	ÉE-EUF	ÉUF	UF + NF
Eau + P	A	-	A				A	A
S.F.	B	9 oct. '01	B				B	
S.F.	C	14 déc. '01	C				C	
FLR	D	9 mars '01	D					
FLR	E *	15 juin '01						
FLR	F	23 août '01	F				F	
FLR	G *	14 déc. '01						
Tamisé	H	9 mars '01	H		H		H	
Tamisé	I *	15 juin '01						
Tamisé	J	2 oct. '01	J		J	J		
Tamisé	K	14 déc. '01	K	K	K		K	
Filtramat	L	13 fév. '02	L	L	L			L
Pouponnière	M	13 fév. '02			M			

Note : * désigne les lisiers qui ont été utilisés en ÉE uniquement

Quelques types de lisiers n'ont pu servir aux expériences, à cause d'une limite de temps, révision des objectifs (principalement au niveau du FLR) ou par leur utilisation en électro-épuración.

3.5 Analyses

3.5.1. Échantillonnage

Les mesures dont la lecture était routinière sont : le pH, la température, la pression P. 1 et P. 2 (manomètre 1 et 2 de la figure 3-6), le débit de recirculation (à partir de juin 2001) et le débit de perméat.

Les prélèvements en vue d'analyse (MT, DCO, Pt, etc) lors du fonctionnement de l'ultrafiltration se faisaient habituellement sur le concentrat et le perméat. Les prélèvements sur le concentrat étaient effectués sur le surnageant de la cuve de concentrat (étant donné qu'on considérera ce bassin comme bien homogénéisé, même si une certaine sédimentation y survenait), et pour ce qui est du perméat, les échantillons étaient prélevés directement à la sortie du tube. Ceci avait pour but de mesurer la concentration des divers constituants du perméat en fonction du temps, et non de mesurer les concentrations cumulatives, puisque qu'à quelques reprises il a été tenté de déterminer l'effet des variations de conditions opératoires sur l'efficacité de l'UF à retenir certains constituants. Les échantillons consistaient habituellement de duplicatas prélevés dans des tubes de verre d'environ 70 mL. Suite au prélèvement, les tubes étaient entreposés à 4°C jusqu'à leur analyse.

Il est important de noter que la concentration de matières en suspension dans la grande majorité des échantillons était trop élevée pour pouvoir effectuer une lecture des MES selon les méthodes standards. Cette grande concentration de matières en suspension avait pour effet de colmater très rapidement les pores de la membrane de 0,45 µm, donc de forcer un temps de filtration très grand, menant à une accumulation des sels (due à l'évaporation) dans le gâteau de filtration ainsi formé. Il a alors été décidé d'utiliser la mesure des MT, méthode qui ne subit pas l'interférence de ce phénomène.

Une bonne part des essais étant dirigée vers la détermination des paramètres optimaux, donc en fonctionnant à concentration constante, avec variation de la vitesse et de la pression, peu d'analyses ont été effectuées lors de ces expériences. Habituellement, une lecture des matières totales était effectuée afin d'avoir une idée de la charge de l'effluent en matières en suspension.

Une attention particulière a été portée aux analyses de Pt, de MT, et quelquefois de DCO, alors qu'au cours des essais de couplage entre électro-épuration et ultrafiltration, les efforts étaient plutôt dirigés vers le phosphore soluble, ainsi que le phosphore total.

Aucune lecture d'azote ammoniacal ou d'azote total n'a été effectuée tout au long des expériences étant donné qu'ils ne faisaient pas partie des objectifs de traitement.

3.5.2. Méthodes analytiques

Les méthodes analytiques employées sont principalement celles de APHA *et al.* (1995) comme indiqué dans le Tableau 3-4.

Tableau 3-4 : Méthodes analytiques

Type d'analyse	Méthode d'après APHA <i>et al.</i> (1995)
DCO	5220-D
MES	2540-D
MT	2540-B
Pt	4500-P-F *
o-PO ₄	4500-P-F

* digestion acide. (EPA, procédure 596, 1999)

Pour l'analyse des orthophosphates, le molybdate d'ammonium et l'antimonyl tartrate de potassium réagissent en solution acide avec l'ion orthophosphate pour former un complexe qui, réduit avec de l'acide ascorbique, développe une couleur bleu très intense et mesurable par spectrophotométrie. La méthode utilisée est la méthode QUICKCHEM #10-115-01-1-Q de Lachat instruments, découlant de la méthode # 4500-P-F de Standard Methods (APHA *et al.*, 1995).

Une analyse a été effectuée dans un laboratoire externe : celle des coliformes totaux. Dans ce cas, des échantillons de lisier et de perméat ont été envoyés à Maxxam Analytique inc pour analyse.

3.5.3. Bilans de volumes

Le bilan sur le phosphore se calcule en établissant le rapport ($P_{\text{sortie}} / P_{\text{entrée}}$) exprimée en %.

Les charges d'entrée et de sortie sont déterminées par mesure des concentrations dans le lisier à traiter, dans le concentrat et le perméat en fonction des volumes en cause.

$$Pt_{\text{entrée}} = V_{\text{bassin}} \cdot Pt_{\text{bassin}} \quad (8)$$

$$Pt_{\text{sortie}} = V_{\text{concentrat}} \cdot Pt_{\text{concentrat}} + V_{\text{perméat}} \cdot Pt_{\text{perméat}} \quad (9)$$

où Pt est en mg P/L et V en L.

3.5.4. Analyse économique

Dès le début du projet, il était clair que le créneau de l'UF était très limité, particulièrement au niveau économique. Il y avait alors tout avantage à 1) optimiser le module d'UF avec et sans promoteur de turbulence, et à 2) déterminer les concentrations que l'on peut atteindre tout en conservant des performances raisonnables.

Selon ces contraintes, deux types d'essais ont été effectués : un visant la détermination des paramètres optimaux (K/Q_w en fonction de U), et l'autre vers la détermination du facteur de concentration optimal. En traçant les courbes de K/Q_w (coût global) en fonction de U (vitesse de recirculation), et cela pour plusieurs pressions, on peut obtenir les conditions expérimentales pour lesquelles les coûts sont minimaux. Par contre, cette analyse comporte certaines lacunes, dont celle de ne fonctionner qu'à concentration constante. C'est pourquoi la deuxième étude devait combler ce déficit puisqu'en traçant des courbes de K/Q_w en fonction du facteur de concentration, on peut déterminer le FCV optimal. Ces deux volets de l'étude devaient être effectués sur l'UF et l'EUF.

Dans les deux cas, le K/Q_w a pu être obtenu grâce à cette formule (10) tirée du fruit des recherches de Bellhocine *et al.* (1998).

$$K = K_c A + K_p Q_v \Delta P_f + K_p Q_w \Delta P \quad (10)$$

CHAPITRE 4

RÉSULTATS ET DISCUSSION

4.1 Aperçu général des résultats

Cette étude a comporté quatre étapes :

- une phase préliminaire qui a servi à déterminer les paramètres optimaux de l'ultrafiltration, ainsi qu'à la détermination du facteur de réduction volumique optimal pour les différents types d'effluents, aussi bien en UF qu'en EUF,
- une phase fractionnée en deux étapes portant sur l'efficacité de l'EUF pour l'enlèvement du phosphore et pour la production de micro-bulles,
- une phase consacrée principalement aux couplages en séquence ÉÉ-UF et UF-ÉÉ, avec analyse de la performance technique et économique de chacun, et
- une phase de comparaison des résultats amassés avec les résultats typiques obtenus dans la littérature, afin d'étudier la pertinence de l'utilisation de l'UF ou de l'EUF et de permettre de positionner le procédé. Finalement, un retour sur les résultats sera effectué en relation avec les objectifs initiaux.

Lors de la phase expérimentale, la filtration a été opérée selon quatre modes :

- Ultrafiltration originale,
- EUF 1 (tige centrale de diamètre très important),
- EUF 2 (tige centrale de petit diamètre),
- Couplage avec un procédé d'électrocoagulation.

L'ultrafiltration originale a été conduite afin d'affiner les protocoles expérimentaux, de déterminer les paramètres optimaux de l'UF et de permettre une comparaison au niveau des performances avec les deux procédés d'EUF.

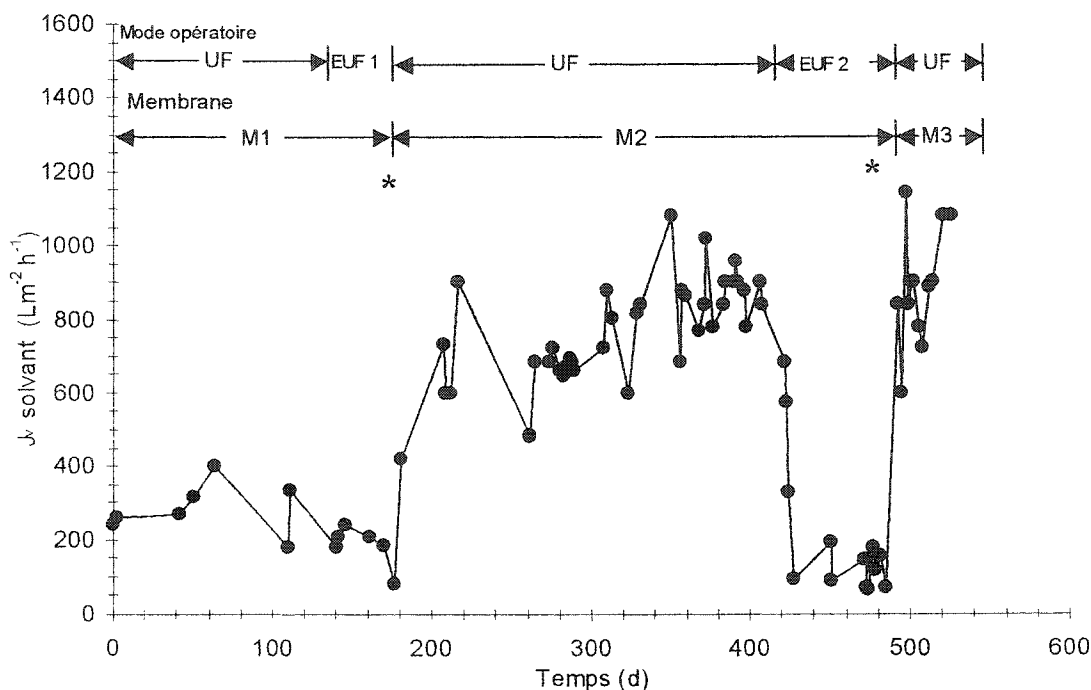
Afin de maximiser la vitesse d'écoulement à la surface de la membrane, la section d'écoulement a dû être diminuée. La tige centrale de l'EUF 1 devait donc être conçue la plus grande possible. La conception visait également l'enlèvement du phosphore et la

production de micro-bulles à la cathode. Cette conception s'assurait également d'avoir la plus grande surface et le plus grand volume d'anode soluble possible afin de pouvoir opérer l'EUF avec un minimum d'entretien. Ce mode de fonctionnement a occasionné des petits problèmes, dont le colmatage de l'espace inter-électrode, entraînant un certain court-circuitage. Ce colmatage a fait en sorte que la section d'écoulement disponible pour le liquide était beaucoup trop réduite, et que cela a fait augmenter fortement les pertes de charges dans le système.

L'EUF 2 est venue résoudre quelques problèmes comme le court-circuit entre les électrodes et l'augmentation importante des pertes de charge de la version antérieure. La modification majeure a été de réduire le diamètre de la tige centrale, qui sera alors composée d'acier inoxydable. Par contre, lors de la fin de cette deuxième phase expérimentale en EUF, il a été observé que l'insertion d'électrodes dans la membrane n'était pas la méthode idéale afin de conserver les flux membranaires initiaux, qu'il y ait ou non colmatage de l'espace inter-électrode. Effectivement, une diminution importante des flux de perméat en solvant (figure 4-1) a été notée peu de temps après l'installation de l'EUF 1 et EUF 2.

Visant toujours l'enlèvement du phosphore soluble, ainsi que l'amélioration des performances membranaires, l'utilisation de l'électro-épuration a alors été envisagée (terme générique désignant tous les mécanismes pouvant survenir en électro-coagulation, comme la flottation, production de gaz, solubilisation de fer, etc) en couplage avec l'ultrafiltration. Un réacteur séparé de l'ultrafiltration devait permettre d'abattre les concentrations de matières en suspension, tout en réduisant les teneurs en phosphore soluble, deux facteurs qui causent beaucoup de problèmes en UF seule. Lors des essais de couplage utilisant les deux séquences de traitement (UF en amont et UF en aval du procédé électrochimique), des essais de concentration ont été conduits afin d'approcher le plus possible les conditions réelles d'opération et d'étudier l'efficacité globale d'enlèvement du phosphore soluble.

Les flux membranaires initiaux (solvant) de toutes expériences ont été compilés (figure 4-1). Cela devrait permettre d'étudier le phénomène de colmatage irréversible qui se produit dans le temps.



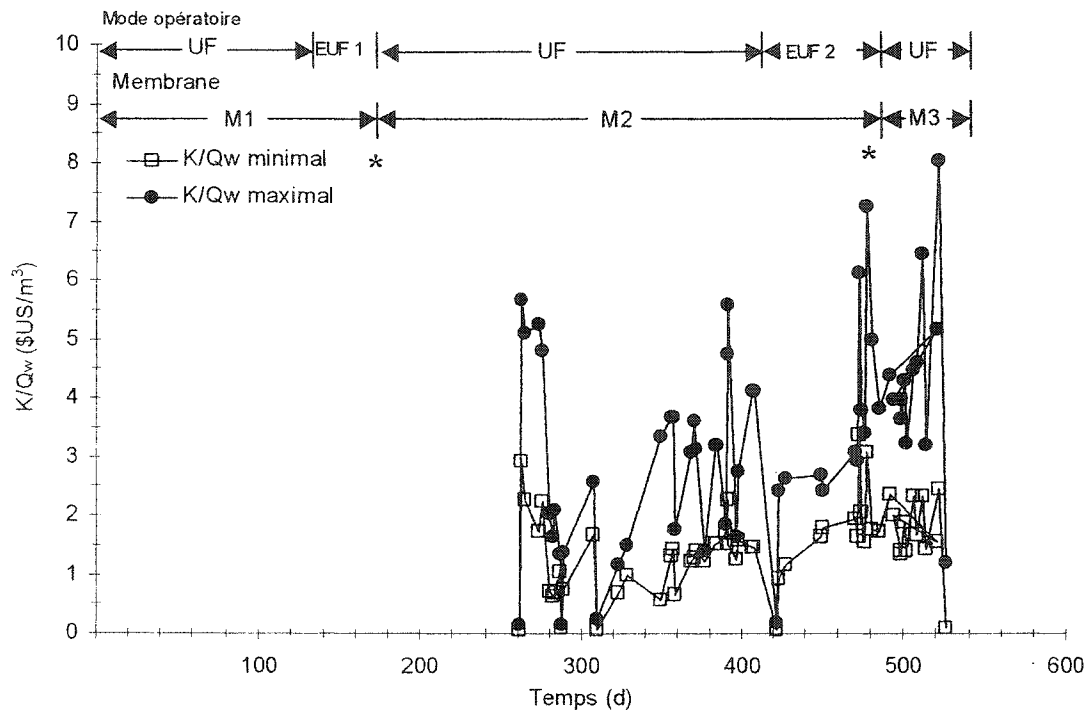
Note : * représente l'installation d'une nouvelle membrane

Figure 4-1 : Flux membranaires solvant pour toute la durée des essais - (oct. '00 à mars '02)

Dans notre cas, les flux membranaires solvant sont les flux qu'on obtient dans certaines conditions fixées lorsqu'on ne traite que de l'eau du robinet. On note une nette diminution des flux solvants tout de suite après l'installation de l'EUF 1, mais surtout lors de l'EUF 2 à la figure 4-1. On note également que le démontage de l'EUF a entraîné un changement de membrane dans les deux cas (passage de M-1 à M-2 et de M-2 à M-3), à cause d'un colmatage irréversible qui serait survenu au cours de cette période. Étant donné qu'aucun lavage mécanique n'a été effectué pendant une longue période d'opération au cours de l'EUF 1 et 2, il est possible qu'un biofilm ou un gâteau se soit accumulé sur la membrane et qu'il se soit incrusté dans les pores. Cette hypothèse est corroborée en partie par les tentatives de restauration des flux membranaires lors du démontage de l'EUF :

même des lavages énergiques à l'aide des billes de lavage, de savons, d'acides ou de bases n'ont pu restaurer la perméabilité initiale de la membrane.

Dépendamment de nombreux facteurs, dont les performances membranaires, le coût minimal et maximal de fonctionnement de l'UF et de l'EUF tout au long des essais ont pu être déterminés. Ces coûts ont été calculés grâce à l'équation 10 présentée dans la section précédente. La figure 4-2 dresse ce portrait global pour tous les essais.



Note : * représente l'installation d'une nouvelle membrane

Figure 4-2 : Coût globaux (K/Q_w) minimaux et maximaux pour les types d'essais (effluent synthétiques et réels) sur la période de juin '00 à mars '02

L'évaluation du K/Q_w n'a été effectuée qu'à partir du 260^e jour car ce n'est qu'à partir de ce moment que le débitmètre Doppler a été installé et a permis des lectures précises du débit de recirculation dans le module d'UF. Auparavant, les estimations étaient trop vagues pour permettre d'évaluer correctement le K/Q_w . La grande amplitude verticale des résultats quelquefois observée peut être expliquée par les résultats des essais d'optimisation qui testent des conditions extrêmes. On peut évaluer que la moyenne des

K/Q_w minimaux se situe entre 1,5 et 2 $\$/m^3$, et que celle des K/Q_w maximaux se situe entre 3 et 4 $\$/m^3$. L'EUF 2 ne semble pas a priori avoir eu d'effet positif sur les coûts globaux d'opération.

Afin de déterminer s'il y a eu un impact positif de l'EUF sur les flux membranaires, indépendamment des autres facteurs, on peut se référer à la figure 4-3 qui présente les flux de perméat atteints en fonction du temps pour toutes les expériences depuis le début des essais.

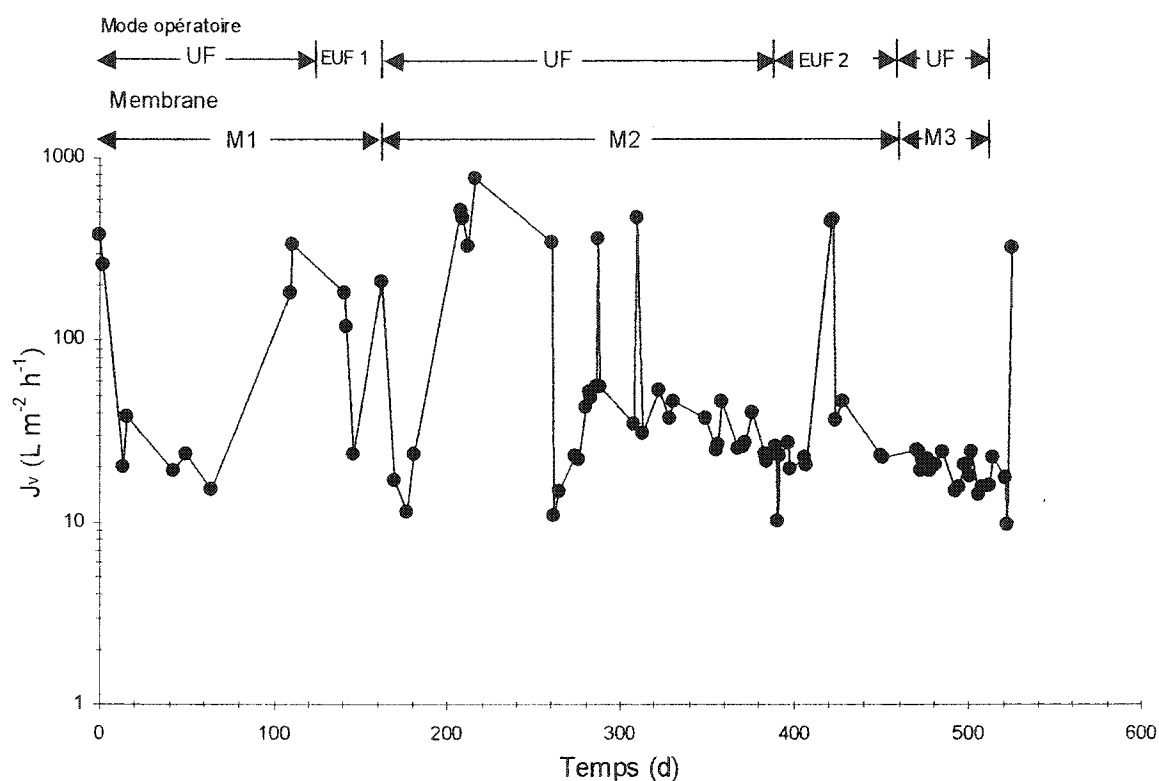


Figure 4-3 : Flux membranaires moyens pour les types d'essais sur la durée de l'étude - (oct. '00 à mars '02)

Les flux membranaires, de façon générale se situent entre 10 et 50 $L m^{-2} h^{-1}$, ce qui est à l'intérieur de la plage de flux habituellement obtenus en ultrafiltration d'eaux usées (Zeman *et al.*, 1996). Les points qui représentent des flux de perméat supérieurs à 100 $L m^{-2} h^{-1}$ ont tous été obtenus avec un effluent synthétique (eau du robinet + phosphore). La variation dans la nature des effluents traités, ainsi que des paramètres d'opération est trop

grande pour permettre de tracer une tendance claire à partir de ces résultats. La période sur laquelle l'EUF a été utilisée est également trop courte pour en déduire une quelconque tendance, mais de façon générale, on peut affirmer que les flux membranaires obtenus en EUF sont du même ordre de grandeur que ceux obtenus en UF.

4.2 Paramètres optimaux

4.2.1. Essais préliminaires synthétiques

Afin de connaître le type de fonctionnement de l'appareil, plusieurs tests préliminaires ont dû être effectués. Ceci se voulait une vérification des postulats théoriques voulant que :

- le flux membranaire augmente en fonction de la pression appliquée,
- le flux membranaire lors d'une opération en solution solvant reste stable dans le temps,
- la membrane subit un écrasement lorsqu'une pression critique est dépassée,
- une lente détérioration des flux solvants se produit lors de l'opération de l'UF sur une longue période en effluent réel, et cela malgré la qualité des lavages effectués,
- les flux membranaires augmentent en fonction de la vitesse de recirculation du liquide dans le canal d'écoulement.

Tous les essais liés à la vérification de ces postulats ont été effectués avec de l'eau du robinet.

4.2.1.1. J_v en fonction de ΔP

Quelques essais au début de l'expérimentation ont été effectués afin de vérifier si la relation de J_v en fonction de ΔP , est bien linéaire et cela conformément à la loi de Darcy relative à la perméation d'une interface poreuse par un solvant. La Figure 4-4 montre une autre allure de courbe.

On note bien une certaine linéarité de la courbe dans l'intervalle de pressions de 50 à 250 kPa. Pour des pressions plus élevées de 400 et 500 kPa, la diminution de la pente est probablement due à un écrasement de la membrane (Brun *et al.*, 1989; Zeman *et al.*, 1998). Ayant dépassé les pressions d'opération recommandées par le manufacturier pour l'opération de l'ultrafiltration, (~ 350 kPa) cette hypothèse est plausible. Toutefois, cette diminution pourrait également être due à un certain colmatage des membranes par des micro-organismes ou des solutés présents en traces dans l'eau du robinet. À haute pression, le transfert de masse étant très important vers la membrane, la diffusion de ces particules ou solutés de la membrane vers la solution est peut-être plus lente, menant à une accumulation. C'est d'ailleurs cette dernière hypothèse du dépôt qui a inspiré l'expérience suivante.

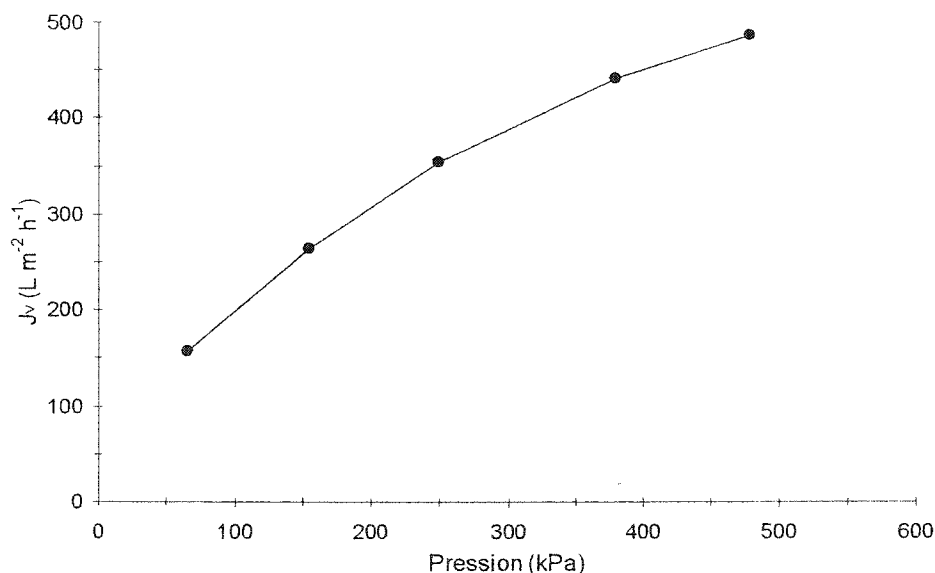


Figure 4-4 : J_v en fonction de ΔP pour de l'eau du robinet passée en UF - (29 sept '00)

4.2.1.2. Stabilité des flux membranaires en fonction du temps

L'hypothèse de colmatage semble expliquer l'allure de la courbe présentée à la figure 4-5.

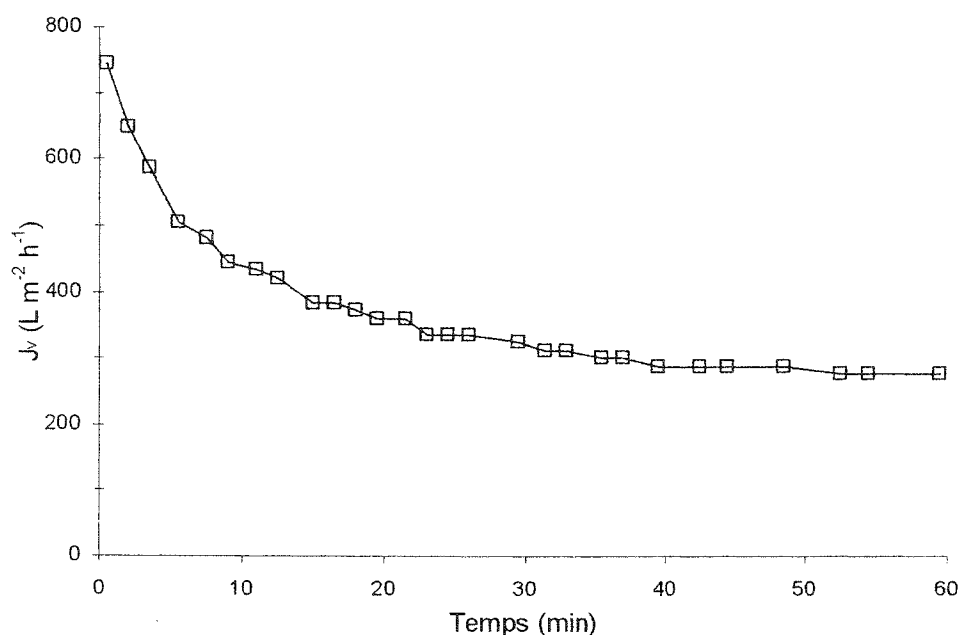


Figure 4-5 : J_v en fonction du temps pour l'UF d'eau du robinet - (3 août '01)

Cette figure illustre une diminution rapide du flux membranaire avec le temps; cette diminution ne pouvant être expliquée par une compaction de la membrane (la pression de 110 kPa étant trop faible (Zeman *et al.*, 1998)), elle sera portée sur le compte du colmatage. Afin d'éviter l'effet de colmatage, il aurait fallu nettoyer parfaitement toutes les parties du système en contact avec l'eau, utiliser de l'eau distillée filtrée séquentiellement à travers une cartouche de charbon activé, une résine échangeuse d'ion et un microfiltre de 0,2 μm (Zeman *et al.*, 1998).

4.2.1.3. Écrasement de la membrane par la pression

Il est très difficile de discerner l'effet d'écrasement de la membrane des autres mécanismes de réduction des flux membranaires, comme le colmatage. La figure 4-4

illustre bien une diminution, mais elle est tellement faible, et il est difficile de cibler à quel mécanisme l'attribuer.

Comme les pressions utilisées sont considérées trop faibles pour créer un effet de compactage, et qu'une variation de pression semble avoir un impact sur les flux membranaires, il sera considéré que le colmatage est le mécanisme le plus important agissant sur l'allure des courbes de 100 et 150 kPa de la figure 4-6. La pression, comme mentionné dans le chapitre II, a un impact sur les transferts de masse, donc peut jouer sur l'accumulation de contaminants à la surface de la membrane.

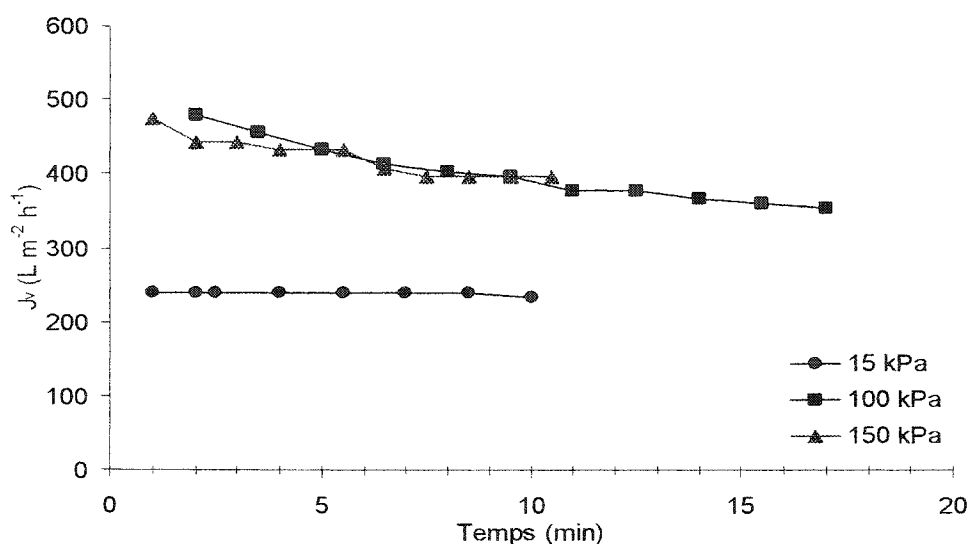


Figure 4-6 : J_v en fonction du temps d'UF d'eau du robinet pour des pressions de 15, 100 et 150 kPa – (11 juil. '01)

On pourrait émettre l'hypothèse, en analysant cette figure, qu'une pression de 15 kPa est suffisante afin de permettre une certaine perméation à travers la membrane, mais insuffisante pour retenir les particules et les solutés à l'interface, ce qui expliquerait la stabilité des flux membranaires dans le temps.

4.2.1.4. Colmatage irréversible

En comparant les différentes valeurs de J_v initial en solvant, on peut évaluer le colmatage irréversible. En effet, seule cette lecture initiale peut donner une idée précise de

l'état des membranes. Comme les essais pour chaque membrane n'ont pas été d'une très grande durée (~ 10 mois pour la membrane ayant été utilisée le plus longtemps) comparativement à la durée de vie moyenne d'une membrane (~ 2 ans), il est difficile d'observer une tendance claire pour des conditions normales d'opération en UF. La figure 4-1 en est l'illustration. Dans la première phase d'UF utilisant la première membrane (0 – 140 jours), les flux solvant sont faibles dès les premiers essais et diminuent graduellement jusqu'à atteindre une valeur près de $50 \text{ L m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ (flux membranaire solvant pratiquement égal aux flux membranaires obtenus avec du FLR) après la première phase d'EUF. Cette première membrane présentait des flux membranaires solvant initiaux inférieurs à ceux obtenus avec les deux autres membranes. Celle-ci a servi lors du montage du système de filtration chez l'équipementier, et elle a pu être exposée à l'air ou à des contaminants divers, l'endommageant de façon importante. La seconde membrane, installée lors du démantèlement de l'EUF 1, présente des flux membranaires solvant plus de trois fois supérieurs à ceux obtenus initialement avec cette première membrane. Non seulement elle conservera de bons flux, mais dans la période de 300 à 400 jours, on note une augmentation des performances, probablement due à un meilleur lavage ou à des températures de nettoyage plus élevées (25°C vs $10\text{-}15^{\circ}\text{C}$). Ces flux passeront de $800 \text{ L m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ à près de $100 \text{ L m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ dès l'installation de l'EUF 2. Ceci laisse croire que le lavage alors effectué est déficient. La troisième membrane, installée suite au démontage de l'EUF 2 obtiendra également des flux membranaires importants entre les jours 500 et 550.

Ces résultats suggèrent que le colmatage irréversible lent ne se produit pas de façon apparente sur la période pendant laquelle les membranes ont été utilisées. Par contre, lors de l'installation de l'EUF 1 et 2, une très forte diminution des flux solvants a été notée, qui ne pouvaient être rétablis par nettoyage physique ou chimique après que l'appareillage d'EUF eut été enlevé.

4.2.1.5. J_v en fonction de U

Des essais ont été effectués en effluent synthétique afin de déterminer l'effet de la vitesse de recirculation sur les flux membranaires. Contre toute attente, on observe une

diminution des flux membranaires avec une augmentation des vitesses de recirculation comme présenté à la figure 4-7.

Cette diminution des flux membranaires en fonction de la vitesse est probablement causée par un colmatage graduel dû à des impuretés dans le module d'UF, ce dernier ayant déjà servi à traiter du lisier de porc. En effet, la courbe présente une pente similaire à celle retrouvée à la figure 4-6. L'impact de la vitesse linéaire sur la couche de polarisation serait alors masqué par l'interférence du colmatage.

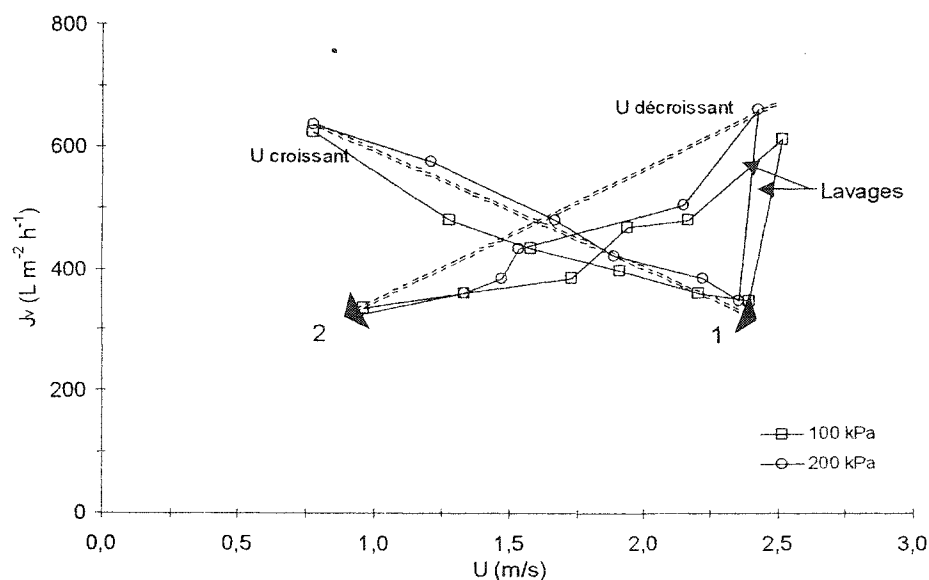


Figure 4-7 : Variation séquentielle croissante (flèche 1) puis décroissante (flèche 2) de la vitesse de recirculation pour deux pressions données en UF d'eau du robinet - (1 mai '02)

L'élément qui vient conforter cette théorie du colmatage est l'observation qualitative d'un nuage d'impuretés dans l'eau de lavage de l'UF entre deux essais. L'épaisseur de la couche de colmatage étant très faible, donc se situant au niveau de la « peau » de la membrane; c'est à dire dans la zone d'écoulement laminaire, la circulation du liquide aura peu d'impact sur cette membrane dynamique. Si l'équipement avait été en absence de tout contaminant dans l'eau traitée, les flux membranaires se seraient

maintenus, indépendamment de la vitesse de recirculation, puisque la pression transmembranaire reste constante.

4.2.2. U et ΔP optimaux en UF – Effluent réel

Dans des conditions idéales, les courbes du coût en fonction de la pression et de la vitesse devraient ressembler à celles présentées à la figure 4-8.

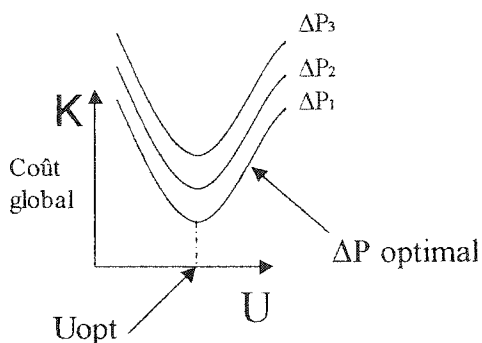


Figure 4-8 : Courbes théoriques du coût global en fonction de la vitesse de recirculation à différentes pressions (Mameri, 2001)

On a donc procédé à ce genre d'optimisation avec plusieurs types de lisiers. Il faut être conscient que les conditions optimales déterminées dans cette partie de l'étude ne sont réellement optimales qu'à concentration constante de lisier. D'autres études devraient être menées si on désire déterminer l'évolution des paramètres optimaux en fonction du facteur de concentration volumique.

4.2.2.1. FLR

Le FLR est probablement le type d'effluent qui donnera les plus grands flux membranaires, donc les coûts d'exploitation les plus faibles étant donné sa très faible charge en matières en suspension. La figure 4-9 présente une courbe typique obtenue lors du traitement de ce type de lisier biotraité.

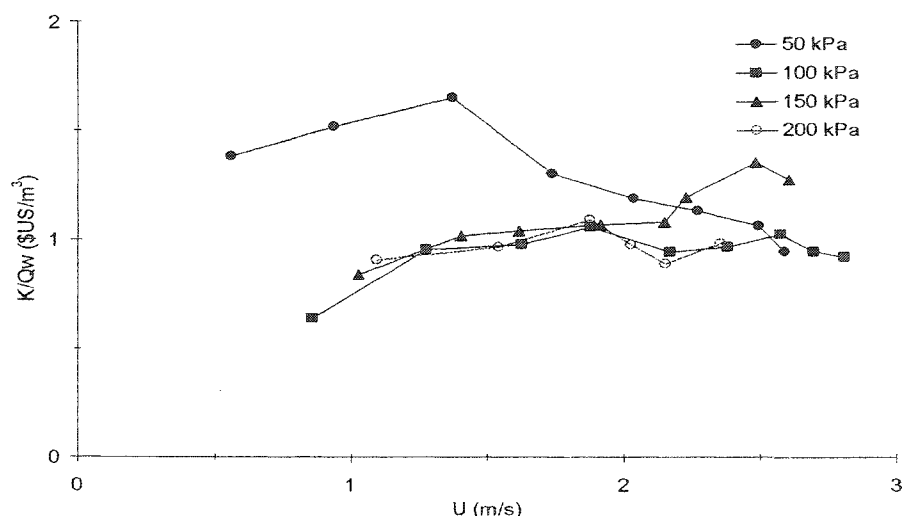


Figure 4-9 : Courbe typique de la détermination des paramètres optimaux de l'UF sur du FLR (effluent E) – (5 juil. '01)

On note dans cette dernière figure que la courbe de 50 kPa se situe bien au-delà des autres à faible vitesse linéaire (0,5 – 2 m/s), cette pression étant probablement trop faible pour combattre la pression osmotique ou la résistance du gâteau de filtration formé. La courbe de 100 kPa se situe, elle, dans la plage inférieure couverte par les différentes courbes, place qu'elle partage avec la courbe de 200 kPa. Toutes les courbes semblent converger à grande vitesse (> 2,5 m/s). Ces résultats peuvent s'expliquer par le fait qu'aux vitesses élevées les pertes de charge sont très élevées et croissent de manière exponentielle, réduisant considérablement l'effet du flux de perméat sur le coût global de l'ultrafiltration, c'est à dire l'influence de la pression transmembranaire.

De cette figure on peut tirer que le ΔP optimal est de 100 kPa, pression où les flux membranaires sont les plus élevés, même si le coût d'opération est similaire au coût de l'UF à 200 kPa. La vitesse de recirculation optimale dans ce cas se situe entre 2 et 2,5 m/s.

4.2.2.2. Surnageant de fosse

Une courbe typique d'optimisation de l'UF sur du surnageant de fosse est présentée à la figure 4-10.

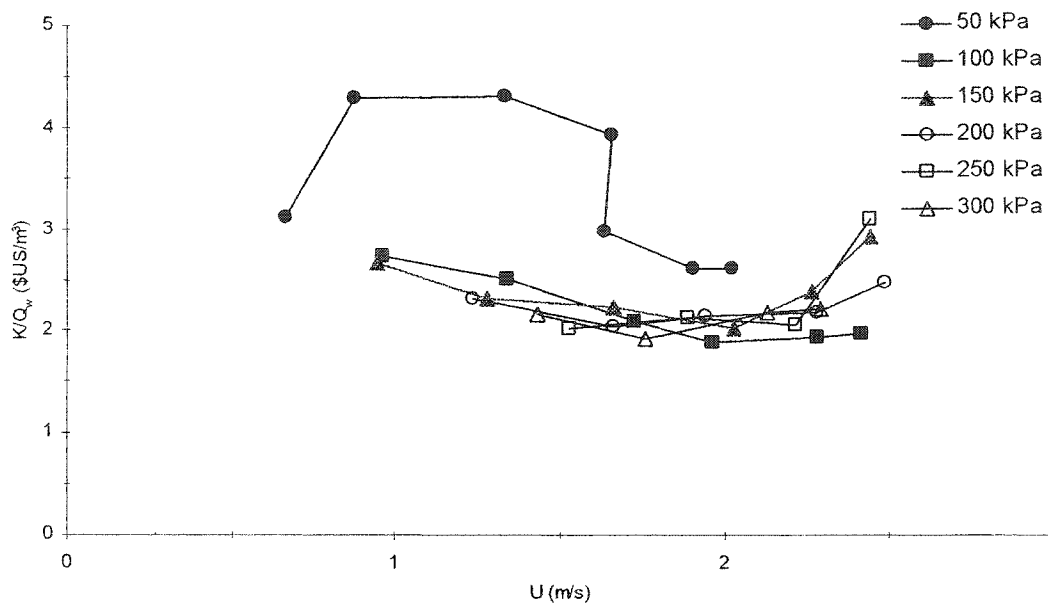


Figure 4-10 : Courbe typique de la détermination des paramètres optimaux de l'UF sur du surnageant de fosse (Effluent K) - (7 fév. '02)

Contrairement aux courbes d'optimisation obtenues pour le FLR, les courbes du surnageant de fosse semblent concaves, et correspondre un peu plus au modèle de Bellhocine *et al.* (1998). Encore ici, la vitesse optimale se situe entre 2 et 2,5 m/s, et la pression optimale est de 100 kPa. L'utilisation des pressions les plus faibles sera privilégiée afin de limiter les effets de compression du gâteau qui pourrait survenir. On note que la moyenne des points pour la plupart des courbes obtenues aux différentes pressions transmembranaires se situe entre 2 et 3 \$US/m³ pour le traitement du surnageant de fosse, alors qu'elle se situait entre 1 et 2 \$US/m³ dans le cas du FLR.

4.2.2.3. Lisier tamisé

Le lisier tamisé étant très chargé en matières en suspension, on peut s'attendre à obtenir des coûts de traitement assez grands. À la figure 4-11 il est possible d'observer les courbes obtenues.

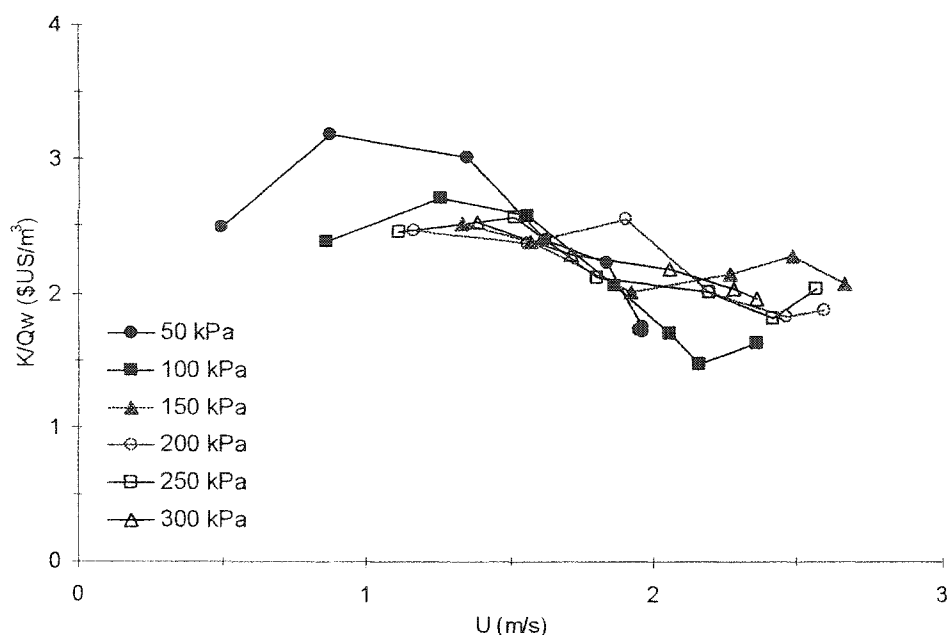


Figure 4-11 : Courbe typique de la détermination des paramètres optimaux de l'UF sur du lisier tamisé (Effluent J) - (17 oct. '01)

Cette figure présente des courbes convexes, d'allure similaire à celles observées avec le FLR. Encore une fois, la vitesse optimale se situe entre 2 et 2,5 m/s, alors que la pression optimale est de 100 kPa. Les pressions les plus élevées ne présentent pas les résultats les plus intéressants selon cette analyse économique. Toutefois, les courbes semblent encore une fois converger à grandes vitesses et cela pour les mêmes raisons préalablement citées.

4.2.3. U et ΔP optimaux en EUF – Effluent réel

La même démarche a été entreprise en EUF qu'en UF, c'est à dire la détermination des paramètres d'opération optimaux. Seuls les résultats de la deuxième phase (EUF 2) seront pris en compte étant donné le faible nombre d'expériences effectuées au cours de la première (EUF 1), ainsi que par l'absence d'un paramètre vital pour l'analyse des données : le débit de recirculation. L'EUF 1 obstruait également environ 63% de la section d'écoulement avec les tiges insérées, alors que l'EUF 2 n'en obstruait que 31%. L'EUF 1 limitait beaucoup les variations de vitesses étant donné les très grandes pertes de charge

engendrées par cette réduction de la section d'écoulement. De plus, ce premier prototype a subi un colmatage très important, et ce, de façon assez rapide. Il est estimé que lorsque l'espace inter-électrodes était complètement colmaté, l'EUF 1 obstruait environ 90 % de la section d'écoulement.

Les vitesses linéaires mesurées lors des tests avec le second prototype ont pu être faussés lorsqu'il y avait application d'un potentiel électrique. Pour une raison inconnue, le débitmètre effectuait des lectures erronées lorsque les électrodes étaient sous tension.

4.2.3.1. FLR

L'optimisation du FLR en EUF a également été effectuée, et le graphique est présenté en 4-12.

La figure 4-12 présente des courbes linéaires, ce qui tranche de façon importante avec les courbes d'optimisation obtenues en UF, même avec du FLR. Cette dernière figure suggère que plus la pression transmembranaire est élevée, moins le procédé est coûteux. Lorsqu'on prend les données pour toutes les pressions à une même vitesse de recirculation, on note que les flux membranaires augmentent en fonction de la pression et que la perte de charge (ΔP_f) diminue. La vitesse et pression optimales dans ce cas-ci seraient de 1,5 m/s et de 200 kPa.

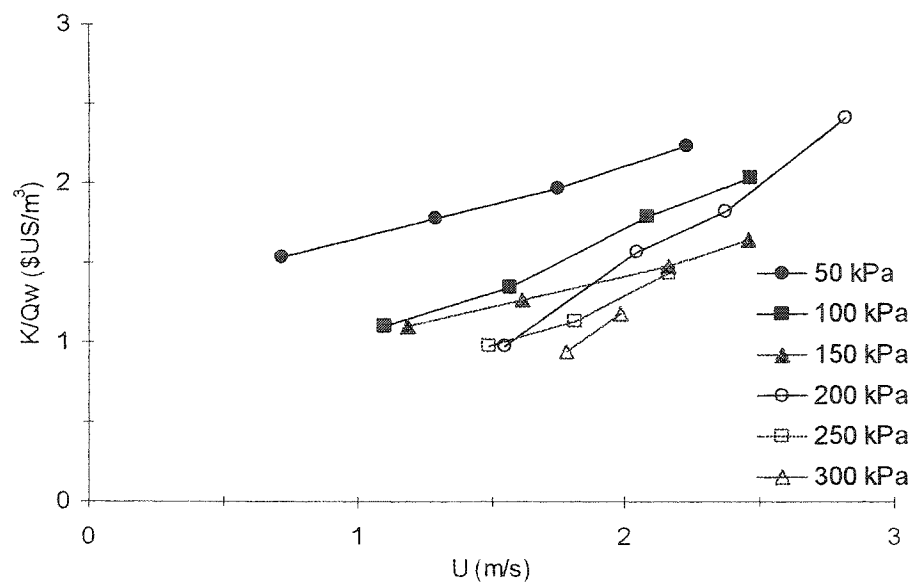


Figure 4-12 : Courbe typique de la détermination des paramètres optimaux de l'EUF 2 sur le FLR (Effluent F) - (23 nov. '01)

Afin de déterminer si l'application d'un champ électrique pouvait avoir un effet bénéfique sur les flux membranaires, une série de deux essais de 60 minutes chacun ont été effectués sur le même lisier à température et pression constante. Le premier essai a été réalisé en opérant sans l'application d'un potentiel électrique, par contre pour le deuxième essai, les électrodes ont été soumises à un potentiel de 10,34 V et une intensité de courant de 24 A. Les résultats sont illustrés à la figure 4-13.

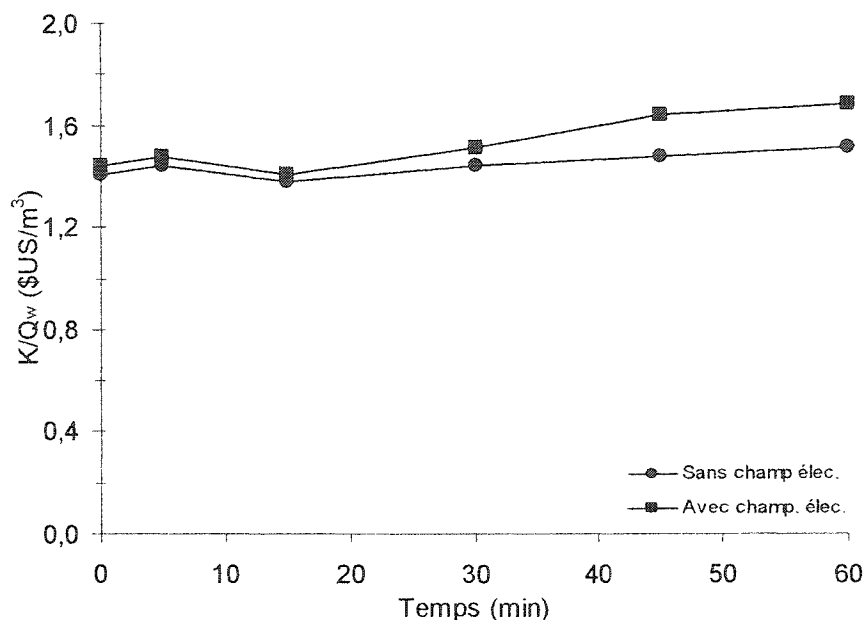


Figure 4-13 : K/Q_w en fonction du temps pour un module d'EUF 2 polarisé et non-polarisé traitant du FLR (Effluent F) - (23 nov. '01)

L'application d'un champ électrique ne semble pas bénéfique à la filtration selon les résultats de la figure 4-13, puisqu'elle semble faire diminuer les flux membranaires avec le temps, donc augmenter les coûts de traitement. On se serait attendu à observer une certaine augmentation des flux, avec la production de micro-bulles. Par contre, comme il est mentionné à la section 4.3.2, le volume de bulles par rapport au volume de lisier en circulation atteint à peine 0,5 % dans les meilleures conditions. Cependant, il est difficile d'expliquer cette diminution des flux membranaires alors que la seule différence entre ces deux expériences est l'application d'un champ électrique et la production de gaz.

4.2.3.2. Surnageant de fosse

Le traitement du surnageant de fosse en EUF pourrait présenter des résultats intéressants puisque les vitesses de recirculation dans le canal d'écoulement devraient être supérieures à celles rencontrées en UF, et pourraient avoir un effet sur la réduction de l'épaisseur du gâteau de filtration. Toutefois, il faudrait tenir compte de l'effet de la hausse

de la perte de charge, suite à la réduction du canal d'écoulement, qui pourrait masquer l'effet bénéfique de la réduction du gâteau de filtration, c'est à dire de la croissance du flux de perméat. La figure 4-14 illustre ces données.

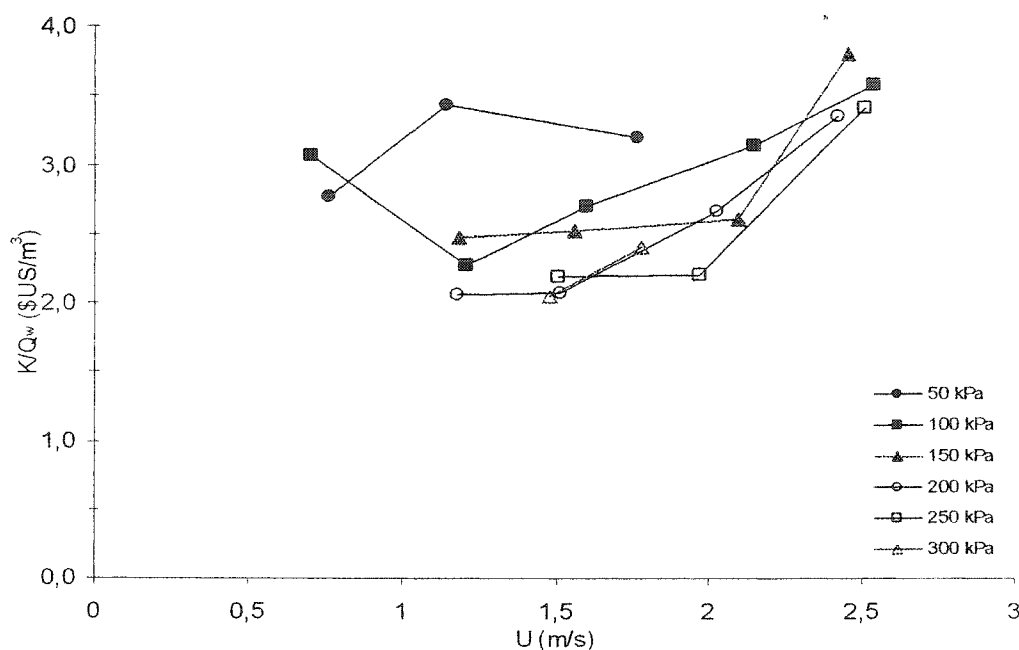


Figure 4-14 : Courbe typique de la détermination des paramètres optimaux de l'EU2 avec du surnageant de fosse (Effluent C) - (11 jan. '02)

Encore ici, les pressions plus élevées semblent permettre des coûts de traitement inférieurs à ceux atteints à plus faible pression lorsque les vitesses de recirculation sont inférieures à 2 m/s. Par contre, au-delà de 2 m/s, les coûts semblent augmenter de façon assez importante et les courbes semblent converger, confirmant les résultats similaires obtenus avec les différents types d'effluents préalablement présentés. Les paramètres optimaux selon cette figure seraient d'environ 1,5 m/s et de 200 kPa, comme pour le FLR.

4.2.3.3. Lisier tamisé

Le lisier tamisé présentant une charge en matières en suspension plus importante, c'est dans ce type d'effluent qu'il est escompté faire les meilleures observations quant au

taux d'amélioration des performances membranaires par l'apport d'un champ électrique (figure 4-15).

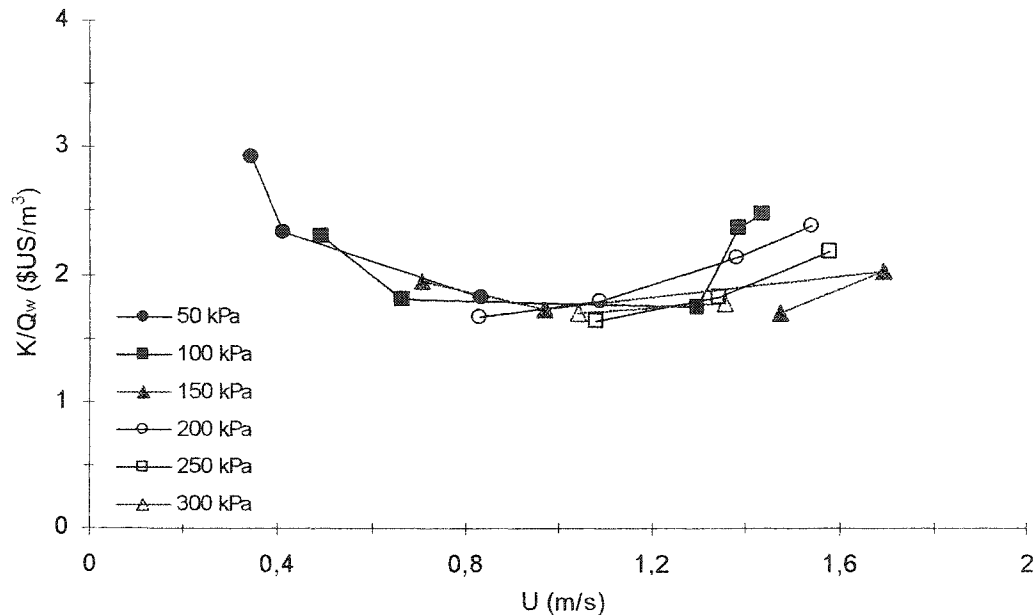


Figure 4-15 : Courbe typique de la détermination des paramètres optimaux de l'EU2 avec du lisier tamisé (Effluent K) - (9 jan. '02)

Comme il a été constaté, la gamme des vitesses linéaires à la figure 4-15 est beaucoup plus restreinte que celle observée précédemment. Cet effet a été observé au début des essais en EUF, mais la cause n'a été déterminée qu'à la fin. Il semblerait que le courant injecté dans le système interfère avec la sonde du débitmètre Doppler. Des compensations ont été effectuées grâce à des recoupements entre les données de cet essai et les données d'autres essais où aucun courant n'était appliqué. On peut donc déterminer que la vitesse et pressions optimales sont de 1,8 m/s et 200 kPa. Il est par contre difficile de se fier aux chiffres absolus du K/Q_w étant donné que les vitesses sont utilisées afin de déterminer le coût, et que ces dernières sont vraisemblablement biaisées de l'ordre de 30 à 50 %.

4.2.4. Facteur de concentration volumique optimal en UF

L'évaluation du facteur de concentration volumique maximal atteint peut permettre d'évaluer les volumes de concentrat et de perméat produits lors du traitement d'un effluent donné. Par contre, ces données seules ne sont pas optimisables. C'est pourquoi le facteur de réduction volumique a été relié avec le modèle économique de Belhocine *et al.* (1998), ce qui a permis de déterminer le coût global en fonction de la concentration, et ainsi optimiser ce facteur. Comme mentionné précédemment, les conditions optimales ne le sont peut-être pas réellement optimales pendant toute la durée de l'essai de concentration. En effet, l'optimisation n'a été effectuée qu'à concentration initiale et constante.

4.2.4.1. FLR

Les facteurs de concentration volumiques optimaux ont été déterminés en UF sur le FLR, mais la quantité de données est restreinte. Les facteurs de réduction volumique obtenus se situent entre 4 et 7. Ces données sont très variables étant donné les faibles volumes en question et la différence de composition entre les différents prélèvements de lisier. Les volumes de FLR traité auraient également pu être augmentés afin d'affiner l'interprétation des facteurs de concentration, mais lors de ces essais, aucun système automatisé de contrôle de la température n'était disponible ce qui fait que les essais auraient largement dépassé les 24 h d'opération. Il est intéressant de noter la relative conservation des performances membranaires malgré l'augmentation de la concentration du lisier : dans un cas, on passe d'un coût global (K/Q_w) de 0,9 à 1,16 \$/m³ malgré un facteur de réduction volumique de 7, alors que dans un autre, on passe de 1,08 à 1,39 \$/m³ avec un facteur de réduction volumique de 4,5. La faible charge en matières totales fait probablement que la viscosité ne change que très peu et que la concentration en matières en suspension n'atteint pas des niveaux aussi importants que ceux qu'on retrouve dans le lisier tamisé ou le surnageant de fosse. Comme dans la plupart des essais, des dépôts dans le bassin de concentrat gênent l'établissement des bilans de masse sur les matières en suspension.

4.2.4.2. Surnageant de fosse

La forte charge en matières en suspension du surnageant de fosse a un effet sur les flux membranaires lors de la concentration : les deux figures 4-16 A) et B montrent une augmentation significative des coûts de traitement, qui doublent ou triplent en fonction du facteur de concentration volumique atteint.

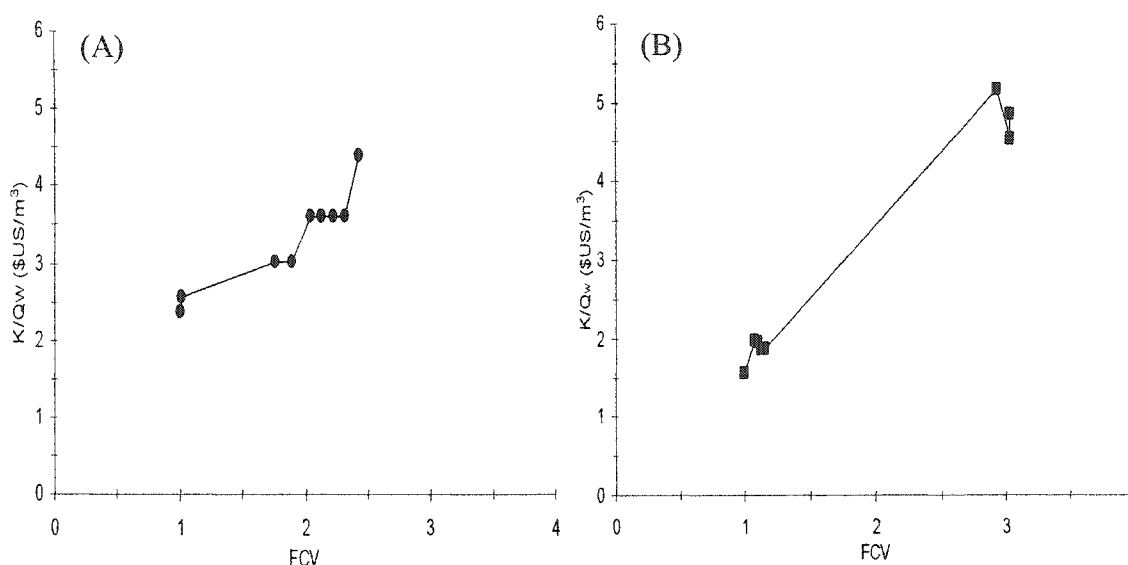


Figure 4-16 : Courbes typiques de K/Q_w en fonction du facteur de concentration volumique pour l'UF de surnageant de fosse (Effluent C) A) Essai du 29 jan. '02 B) Essai du 27 fév. '02

Lors de tous les essais de concentration sur le surnageant de fosse, le facteur de concentration n'a jamais dépassé 2,5 - 3, ce qui est assez faible, mais compréhensible si on tient compte des limites de temps et des flux membranaires obtenus : en effet, avec un volume mort d'environ 5 L, et un volume résiduel requis dans le bassin de perméat de 2 L afin d'éviter l'aspiration d'air par la pompe, on a un volume de 7 L qui restera dans le système. Si on veut un facteur de réduction volumique de 4 par exemple, on doit avoir un minimum de 28 L de lisier à traiter. Or, comme les flux membranaires sont très faibles avec le lisier de porc, un volume excédant 30 L ne peut être utilisé, puisque alors le traitement prendrait beaucoup plus de 24 h de traitement en continu. Au bout de cette période, les flux membranaires étaient presque nuls : ils étaient d'environ $10 \text{ L m}^{-2} \text{ h}^{-1}$,

même en fonctionnant aux paramètres optimaux. Lorsque les flux chutaient sous la barre de $10 \text{ L m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, les mesures n'étaient plus prises car l'incertitude sur la lecture était trop grande, le prélèvement d'échantillons s'avérait ardu, en plus du fait que ce flux était fixé comme valeur « plancher » lors des essais. Un facteur de concentration entre 2,5 et 3 serait optimal selon les résultats obtenus.

4.2.4.3. Lisier tamisé

Le fait que le lisier tamisé possède une charge de matières en suspension supérieure à celle du surnageant de fosse ne garantit pas que des facteurs de concentration volumiques inférieurs seront atteints ni que les flux membranaires seront inférieurs. De façon typique, les facteurs de concentration volumique atteints étaient entre 2 et 4. La figure 4-17 présente bien ce type de courbe.

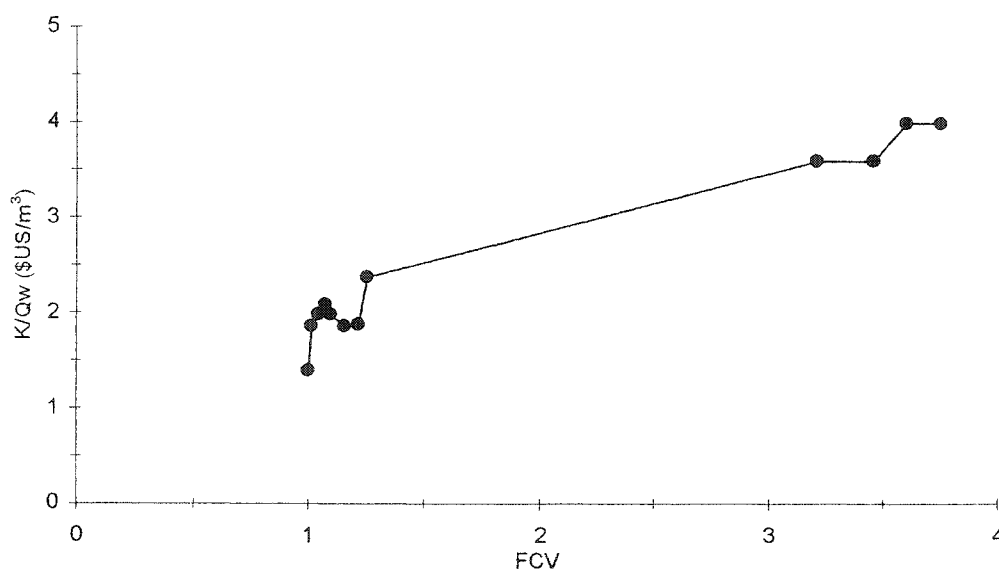


Figure 4-17 : Courbe typique du K/Q_w en fonction du facteur de concentration volumique pour l'UF de lisier tamisé (Effluent K) – (4 fév. '02)

Cette courbe s'apparente beaucoup, autant par l'allure générale que par les plages de valeurs rejointes, aux courbes tracées lors d'essais sur le surnageant de fosse (4-16). Le temps de filtration était très important, ce qui a amené à effectuer le traitement avec de plus petits volumes de lisier que ce qui était initialement planifié. Dans ce dernier cas de la

figure 4-17, les flux membranaires passent de 30 à 10,8 L m⁻² h⁻¹ en 24 h de concentration, alors que le coût global passe de 1,4 à 4,0 \$US/m³. Le facteur de concentration volumique optimal serait dans ce cas 3,5 étant donné que le coût augmente linéairement en fonction du facteur de concentration volumique jusqu'à ce point.

4.2.4.4. Filtramat

Seulement quelques essais ont été effectués sur le Filtramat, étant donné qu'il servait principalement de lisier de remplacement pour le lisier tamisé à la fin des essais en mars '02. Puisque sa nature était très différente de celle notée dans le lisier tamisé, il a été décidé d'en faire une catégorie à part. La charge en matières en suspension initiale, comme mentionné précédemment est très élevée, entre 13 et 24 g/L. La figure 4-18 présente ces résultats :

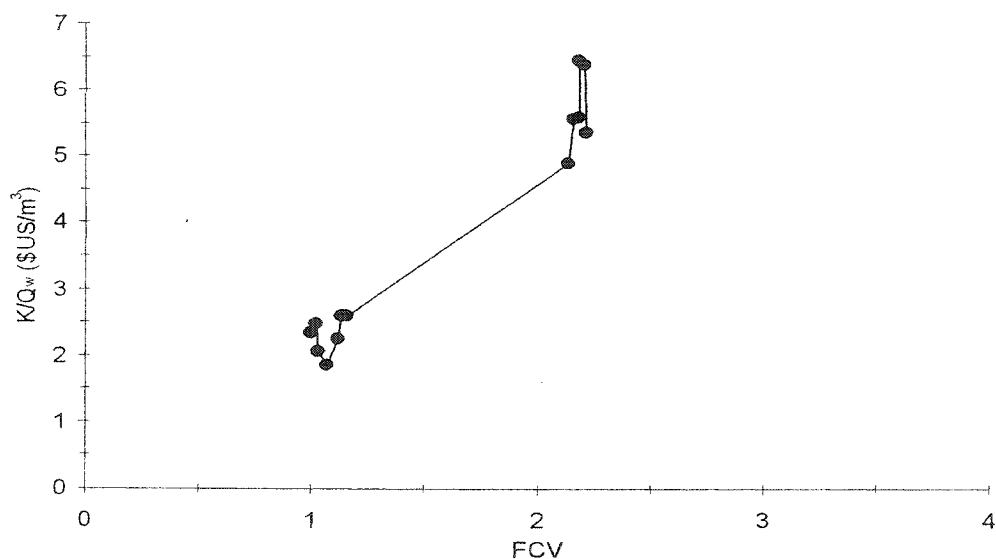


Figure 4-18 : Courbe typique de K/Qw en fonction du facteur de concentration pour l'UF d'effluent du Filtramat (Effluent L) – (18 fév. '02)

Les facteurs de concentration atteints peuvent dépasser 2, mais pas de beaucoup. Il est effectivement très ardu de concentrer ce liquide dont la viscosité et la concentration en MES peuvent atteindre des valeurs de 40-50 g/L MES après 24 h de concentration. Dans l'essai de la figure 4-18, les lectures de débit de perméat ont continué à être prises, même

après être tombé en deçà du flux plancher de $10 \text{ L m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, ce qui a donné les derniers points de la courbe. Le facteur de concentration optimal est de l'ordre de 2 dans ce cas-ci.

4.2.4.5. Conclusion préliminaire

Dans toutes ces expériences, il est assez difficile de déterminer les facteurs de concentration volumique optimaux précis étant donné l'allure des courbes. Des allures de courbes plus prononcées étaient escomptées. Toutefois, les courbes obtenues confirment une tendance exponentielle (figures 4.16A et 4.18). Pour les autres courbes, les tendances sont assez difficiles à cerner, et l'incertitude sur les mesures rend difficile l'évaluation précise des paramètres d'optimisation. Selon les données actuellement disponibles, il est réaliste de croire qu'un facteur de concentration volumique de 2 à 3 pour la plupart des effluents est rentable d'un point de vue économique.

4.2.5. Facteur de concentration volumique optimal en EUF

Lors de cette étude sur les facteurs de concentration, seuls les résultats colligés lors de la phase EUF 2 seront pris en compte. Ceci est expliqué par la faible quantité de résultats disponibles pour la première phase ainsi que par l'absence des mesures des débits de recirculation.

4.2.5.1. FLR

Aucun essai de concentration n'a été effectué avec l'EUF.

4.2.5.2. Surnageant de fosse

Du surnageant de fosse a été utilisé lors de la détermination de facteurs de concentration volumique optimaux en EUF. Ces résultats sont présentés à la figure 4-19. Les facteurs de concentration volumique sont dans la gamme variant de 2 à 4..

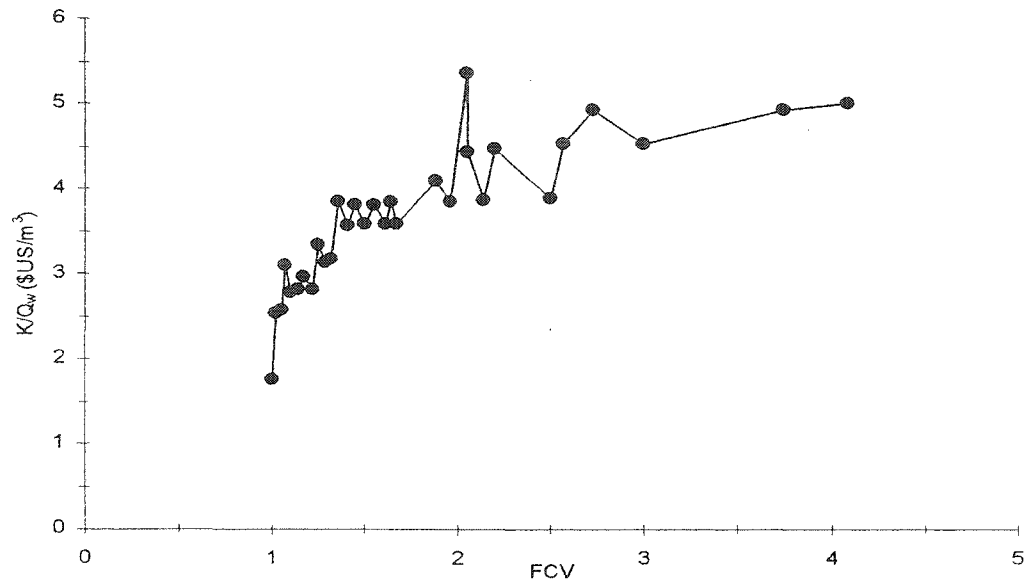


Figure 4-19 : K/Q_w en fonction du facteur de concentration volumique lors de l'EUF 2 de surnageant de fosse (Effluent C) - (18 jan. '02)

Cette courbe s'apparente grandement à une fonction logarithmique. Les résultats devraient plutôt avoir une allure de courbe exponentielle en fonction du facteur de concentration volumique, dont la première section devrait être relativement linéaire. Ce résultat peut s'expliquer par le fait que le procédé d'électrofiltration aux concentrations élevées, c'est à dire aux FCV élevés, est plus efficace et arrive à maintenir un flux de perméat relativement constant pour une perte de charge élevée.

4.2.5.3. Lisier tamisé

L'EUF 2 a été testée sur du lisier tamisé dans le but d'observer l'effet de l'EUF sur les flux membranaires lorsque la concentration en matières suspension dans le lisier augmente. Étant donné certaines difficultés techniques, un seul essai a été effectué et est présenté à la figure 4-20.

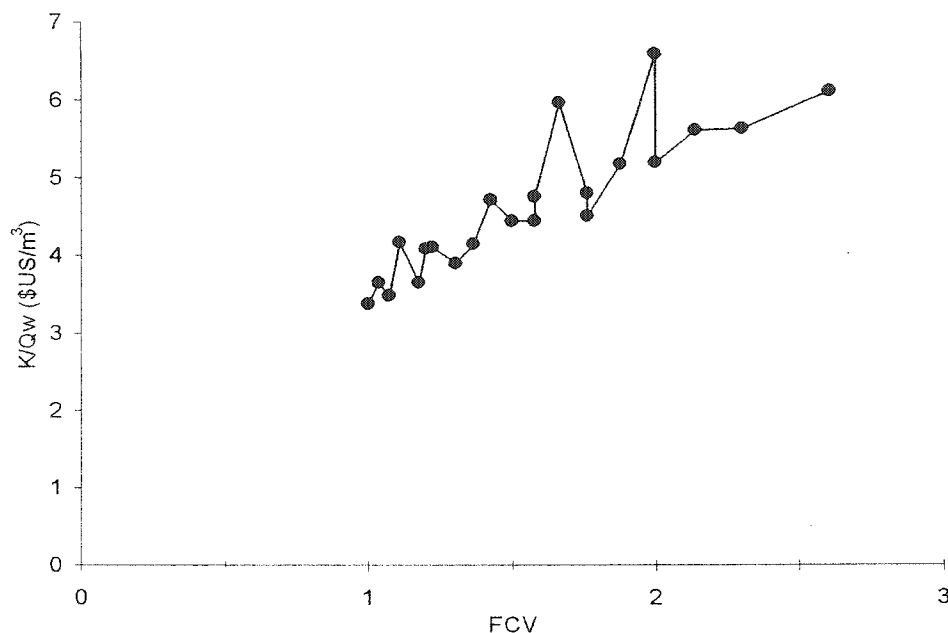


Figure 4-20 : K/Q_w en fonction du facteur de concentration volumique lors de l'EUF 2 de lisier tamisé (Effluent K) – (10 jan. '02)

La figure 4-20 présente des crêtes prononcées; ces crêtes ne sont que l'effet d'une variation de température d'environ 8 degrés lors de l'ajustement manuel des paramètres d'opération. Ces crêtes illustrent à quel point la lecture des paramètres optimaux de filtration est sensible à plusieurs facteurs extérieurs. Hormis ces crêtes, on observe que la courbe est relativement linéaire et une tendance vers un palier aux FCV compris entre 2,5 et 3. Les coûts de concentration en EUF de lisier tamisé semblent très élevés par rapport à ceux obtenus en UF seule. La perte de charge (ΔP_f) dans le système a été tellement importante qu'elle a au moins doublé les coûts d'opération de la cellule. En plus de l'étranglement du canal dû à l'insertion de la tige, cette perte de charge a été accentuée par l'accumulation de poils de porcs et d'enveloppes de grains qui étaient en grandes quantités dans le lisier tamisé et que l'on a retrouvé dans l'espace inter-électrode lors du démontage du système.

4.2.5.4. Filtramat

Au moment où l'EUf était installée, l'effluent du Filtramat n'était pas disponible, ce qui explique l'absence de données pour cet effluent.

4.2.5.5. Conclusion préliminaire

En comparant les données de l'UF et de l'EUf, il est légitime de se questionner sur l'impact que l'EUf a eu sur la détermination des facteurs de réduction volumique. À prime abord, on pourrait croire que son effet est nul, mais lors de l'EUf de lisier tamisé, une augmentation drastique des coûts a été observée, principalement due à l'augmentation de la perte de charge engendrée par l'insertion de l'anode et la cathode. L'EUf n'a eu aucun impact positif sur l'augmentation des performances économiques du procédé membranaire. Toutefois, il a été constaté aux facteurs de concentration volumique élevés une tendance à l'obtention d'un prix de traitement relativement indépendant du FCV comparativement au cas de l'UF où une croissance de type exponentielle du K/Q_w a été constatée.

4.2.6. Coûts d'opération typiques

4.2.6.1. UF

Les tableaux 4-1 et 4-2 présentent les coûts globaux atteints pour les effluents du FLR pour différents facteurs de réduction volumique, du surnageant de fosse et du lisier tamisé.

Tableau 4-1 : Coûts et facteurs de réduction volumique atteints pour différents types d'effluents.

Effluent	FCV	Gamme de K/Q_w (\$US/m ³)
FLR	5	0,7 - 2,0
Surnageant de fosse	2,4 - 3,7	2,0 - 4,5
Lisier tamisé	2,0 - 4,0	1,5 - 4,0

4.2.6.2. EUF 2

Tableau 4-2 : Coûts et facteurs de réduction volumique atteints pour différents types d'effluents.

Effluent	FCV	Gamme de K/Qw (\$US/m ³)
FLR	-	Pas de données
Surageant de fosse	2,6 - 4,0	1,5 - 4,0
Lisier tamisé	2,5	1,7 - 3,0

Le tableau 4-3 résume plus en détail tous les coûts d'opération, ainsi que le facteur de concentration volumique.

4.3 Efficacité de l'EUF

Lors de la première phase de l'EUF, le dispositif a été utilisé comme un mini réacteur électrochimique enchâssé dans la membrane. Ceci visait la coagulation du phosphore avant sa pénétration dans la membrane. Cette coagulation devait permettre à la membrane d'exercer une certaine capacité de rejet vis-à-vis du phosphore soluble. Un deuxième phénomène prenant place à l'intérieur de la membrane est la production de micro-bulles de gaz, qui pourraient créer une turbulence à la surface de la membrane. La section suivante présente ces résultats.

4.3.1. EUF 1 pour l'enlèvement du phosphore soluble

Les premiers essais en EUF ont été effectués sur de l'eau du robinet chargée artificiellement à l'aide de K_2HPO_4 . Ces essais avaient pour but de déterminer l'enlèvement maximal de phosphore dans des conditions idéales avant de passer au traitement du lisier comme tel. Tout d'abord, il a été décidé de déterminer la capacité d'enlèvement d'orthophosphates par l'ultrafiltration. Une expérience a été effectuée en traitant par ultrafiltration une solution d'eau du robinet additionné de K_2HPO_4 pour simuler la présence naturelle d'orthophosphates dans le liquide à traiter (figure 4-21).

On note une petite différence entre les concentrations mesurées dans le concentrat et dans le perméat. Ceci pourrait être expliqué par une précipitation de complexes phosphatés lors d'un ajout de K_2HPO_4 à des concentrations excédant 30 mg P/L. En effet, lors de cet essai en particulier, des floccs blancs ont été notés dans le bassin de concentrat, laissant croire qu'une certaine précipitation a eu lieu, et qu'elle pourrait impliquer les phosphates. Ce précipité blanc pourrait très bien être un phosphate de calcium, mais la détermination de la nature de ce composé n'a pas été poussée plus loin.

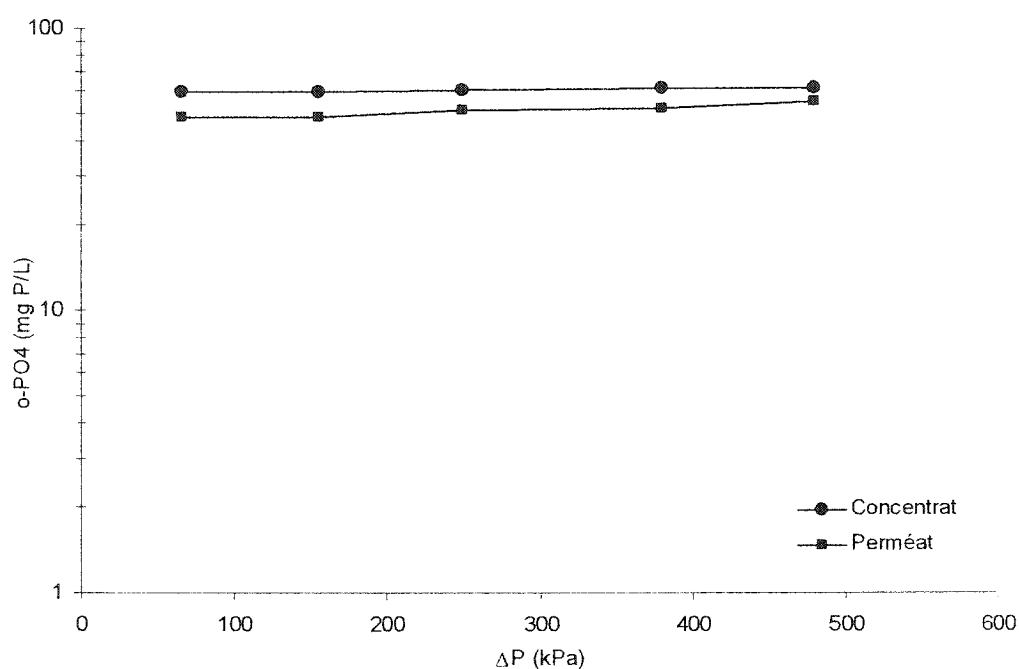


Figure 4-21 : Concentration des orthophosphates dans le perméat de l'EUF 1 en fonction de la pression dans une solution synthétique de K_2HPO_4 (Effluent A) - (29 sept. '00)

À la lumière de ces résultats, il a été conclu que la membrane arrêta peu ou pas d'orthophosphates, et ne permettait pas seule d'atteindre les critères de performance fixés lors du début du projet qui veut que l'effluent rejeté au cours d'eau ait une concentration en phosphore total inférieure à 1 mg P/L.

L'essai a été renouvelé, mais avec l'appareillage d'EUF en mode électrocoagulation : cathode en inox et anode soluble sous tension. Afin d'éviter une éventuelle

précipitation, la concentration d'orthophosphates a été maintenue inférieure à 30 mg P/L. La figure 4-22 présente les résultats de l'enlèvement d'orthophosphates en fonction du temps.

Dans ce cas-ci, le concentrat n'a pas été filtré, et le liquide a été seulement décanté. Pour ce qui est du perméat, on peut considérer que la majorité du phosphore présent est sous forme soluble étant donné la taille des pores d'ultrafiltration. Une grande diminution dans les concentrations d'orthophosphates est notée en fonction du temps de réaction. Par contre, la surface anodique étant probablement insuffisante, ou le courant appliqué étant trop faible (5 A à 3,25 V), le temps requis pour atteindre 1 mg P/L, de l'ordre de 40 minutes, est important comparativement au temps requis pour atteindre le même niveau dans un réacteur électrochimique conventionnel (moins de 5 minutes). Des temps de réaction beaucoup plus courts de l'ordre de quelques minutes étaient escomptés, ce qui aurait permis d'effectuer une première circulation du liquide en mode électrocoagulation avant de commencer la concentration. Mais avec le procédé d'EUF, il faut circuler le lisier en boucle dans le module d'UF pendant plus de 40 minutes avant d'observer une diminution significative des concentrations en phosphore.

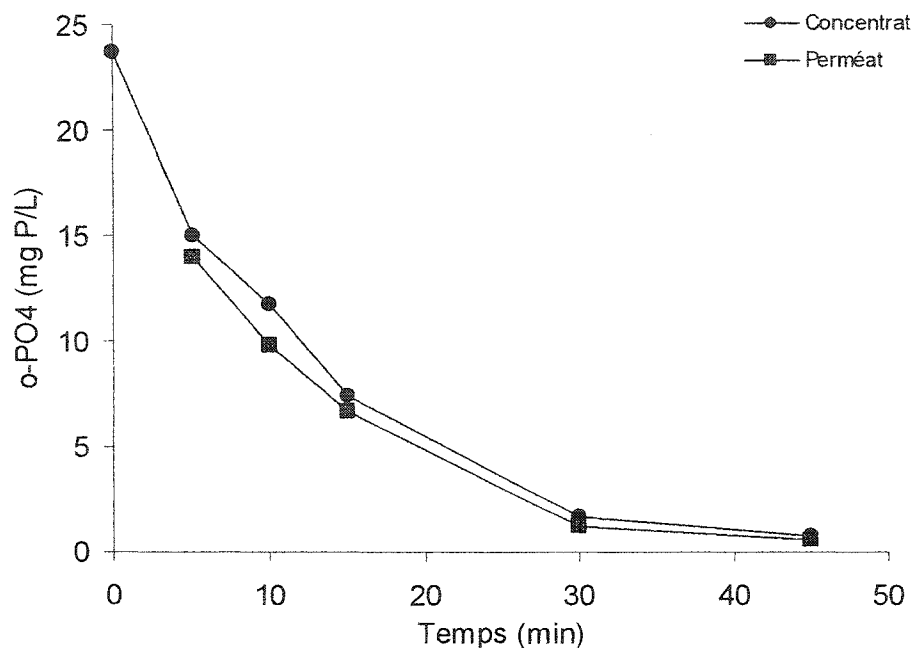


Figure 4-22 : Concentrations d'orthophosphates dans le concentrat et le perméat de l'EUF 1 en fonction du temps de réaction (3,25 VDC, 5 A) sur l'effluent synthétique (Effluent A) - (16 fév. '01)

Afin de déterminer l'efficacité d'enlèvement des orthophosphates dans les conditions réelles, quelques tests d'électrocoagulation ont été effectués. Les résultats de ces test sont présentés à la figure 4-23.

Prenant près de 6 heures d'électro-épuration afin d'atteindre la concentration-cible de 1,0 mg P/L dans le perméat, le procédé peut être encore plus sévèrement questionné sur son efficacité que précédemment en effluent synthétique. Ceci pourrait être dû à plusieurs facteurs comme l'interférence d'ions parasites avec le fer, colmatage de l'anode avec de la matière organique ou à une diminution de la circulation du liquide dans la région anodique à cause d'un colmatage de l'espace inter-électrode, causant une diminution dans les taux de transfert de masse.

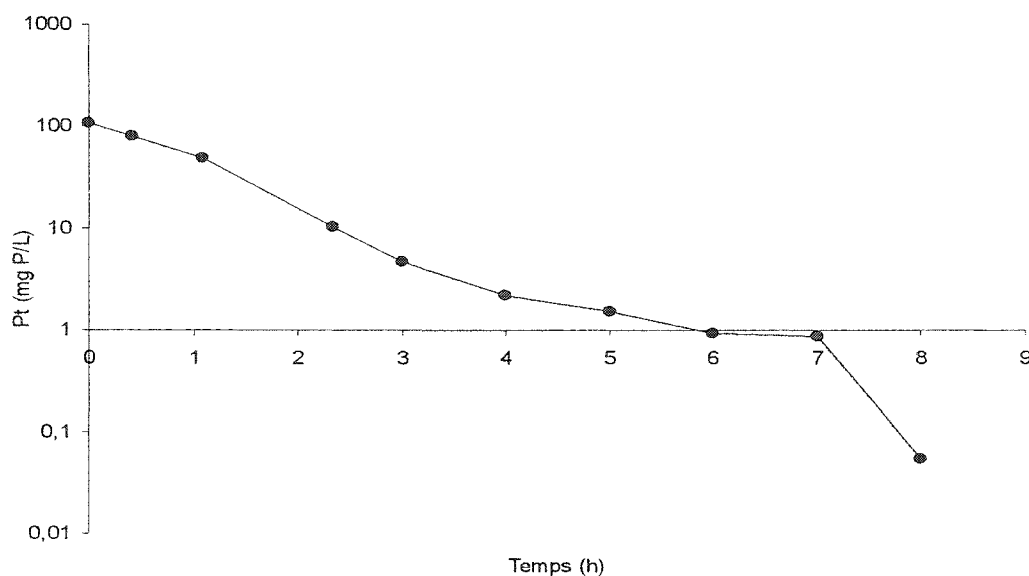


Figure 4-23 : Concentration de phosphore total dans le perméat de l'EUF 1 en fonction du temps de concentration de surnageant de fosse (Effluent B) - (20 fév. '01)

Cette hypothèse de la diminution très importante du transfert de masse, et de la réduction de la surface anodique directement en contact avec le liquide due à un colmatage par de la matière organique semble confirmée : après trois semaines d'essais, une expérience similaire à celle conduite le 16 février 2002 (fig. 4-22) a été effectuée. Ces résultats sont présentés à la figure 4-24.

On note dans cette figure que la concentration d'orthophosphates dans le concentrat et le perméat reste à peu près constante dans le temps. Toutefois, la stabilité dans les concentrations d'orthophosphates suggère une absence d'enlèvement de phosphore. Il faut alors se demander à quoi était utilisé le courant électrique appliqué sur le système puisque de l'ampérage était mesuré. Ce qui a pu se produire est un certain court-circuitage entre les deux électrodes puisque qu'il a été noté un colmatage important dans la zone inter-électrode, et que la majorité du courant aurait été utilisée à ainsi produire de la chaleur. C'est d'ailleurs un court-circuit direct, ajouté à la diminution des débits initiaux solvant et à l'augmentation spectaculaire des pertes de charge qui ont forcé un démontage et une remise en question et une reconception du système d'électro-UF.

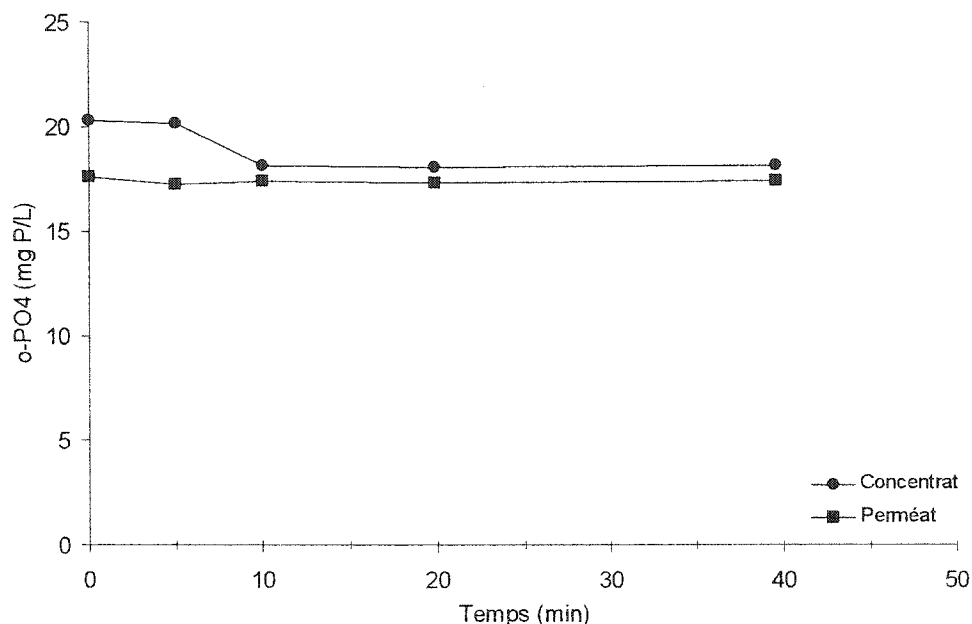


Figure 4-24 : Concentration d'orthophosphates dans le concentrat et le perméat de l'EUF d'eau du robinet additionnée de K_2HPO_4 (Effluent A) en fonction du temps de réaction (3,25 V, 5 A) – (5 mar. '01)

4.3.2. EUF 1 et 2 pour la production de micro-bulles

L'EUF 1 n'a pas été testée au niveau de la production de gaz en fonction du temps et de la conductivité. Cette étude a plutôt été faite sur l'EUF 2 alors qu'un équipement adapté était disponible. Pour ce faire, une colonne de diamètre 10,16 cm (4 po.) et d'environ 183 cm (6 pi.) de longueur avec une capacité d'environ 8 L a été utilisée. L'appareil d'EUF était situé à l'intérieur d'une colonne qui était disposée verticalement et hermétiquement fermée à l'exception d'un petit robinet permettant la mesure des débits de gaz évacués. La lecture des débits de gaz se faisait à l'aide d'un cylindre gradué renversé dans un bassin rempli d'eau et d'un chronomètre.

4.3.2.1. EUF 2

Divers essais ont été effectués sur des solutions synthétiques sur lesquelles la production de gaz a été testée. Ces tests avaient pour but de déterminer les volumes

maximaux de gaz qui peuvent être produits à un ampérage donné dans les conditions idéales.

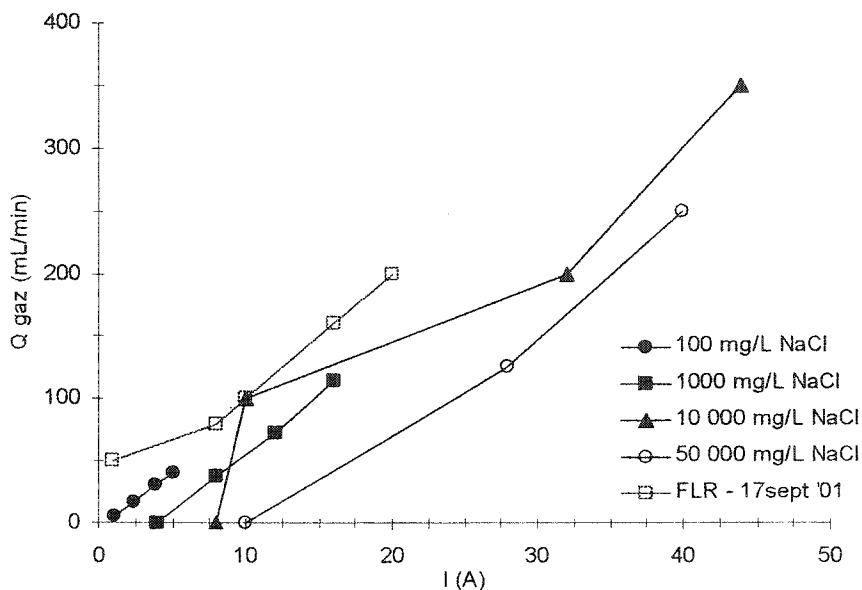


Figure 4-25 : Débit de gaz en fonction de l'intensité de courant électrique appliqué sur les électrodes de l'EUF 2 en colonne hermétique avec de l'effluent synthétique – (13 sept. '01)

La figure 4-25 permet d'observer que pour une même intensité de courant électrique, le débit de gaz produit diminue en fonction de la salinité (donc de la conductivité). La courbe de production de gaz du FLR s'apparente grandement au prolongement de la courbe de production de gaz à 100 mg/L NaCl. De façon générale, les courbes ont une tendance linéaire (à l'exception d'un point de la courbe de 10 000 mg/L) et elles semblent être décalées vers la droite en fonction de leur conductivité. Ce résultat peut s'expliquer par le fait que pour les faibles concentrations de NaCl, c'est à dire aux fortes résistances de la solution, le potentiel de décomposition de l'eau est atteint à de faibles intensités de courant, et cela conformément à la loi d'Ohm. Des tests sur effluent réel ont été effectués par la suite. La figure 4-26 en présente une partie.

Selon les courbes présentées à la figure 4-26 et selon les courbes effectuées en effluent synthétique, on serait porté à croire que le FLR possède une plus grande

conductivité que le lisier tamisé puisqu'il requiert un plus grand ampérage pour la production d'une même quantité de gaz. Par contre, une lecture de la conductivité vient contredire cette hypothèse : On a une conductivité de 11,08 mS/cm pour le lisier tamisé et de 6,0 mS/cm pour le FLR.

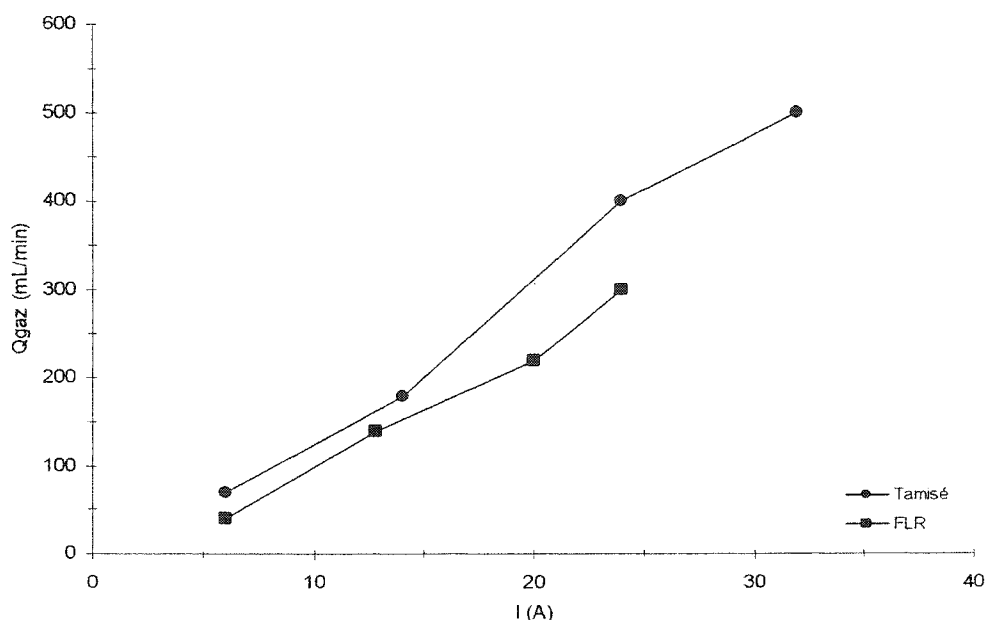


Figure 4-26 : Débit de gaz en fonction de l'ampérage appliqué sur les électrodes d'EUF 2 pour du lisier de porc tamisé, ainsi que pour du FLR (Effluent F) – (15 nov. '01)

Selon la théorie de la loi de Joule, ces résultats peuvent être facilement expliqués, puisque l'énergie dissipée dans le liquide sous forme de chaleur, donc qui ne servira pas à la production de gaz est exprimée par la résistance multipliée par le courant et par le temps ($E = R * I^2 * t$). Comme la résistance est supérieure dans le cas du FLR, il y a donc plus d'énergie dépensée en chaleur et moins de gaz produit. Cependant, à partir de cette courbe on peut tout de même évaluer les volumes de gaz produits lors de l'opération de l'EUF dans les conditions réelles. Dans ces conditions réelles, un ampérage de l'ordre de 15 ou 16 A était généralement appliqué sur les électrodes. Cet ampérage correspond à une production de gaz, qui, selon la figure 4-26, se situe entre 175 et 240 mL/min. Sur l'opération typique de l'EUF qui fonctionne à un débit de recirculation d'environ 40 L/min, on a une proportion d'approximativement 0,5 % du volume qui circule qui est composé de

gaz. Ceci semble bien peu étant donné qu'une partie de celui-ci sera dissous dans le lisier, et que le reste risque de se concentrer dans la région centrale (de vitesse maximale) dans le canal d'écoulement. Cette faible production de gaz peut venir expliquer en partie l'absence ou la très faible augmentation de performance notée lors des essais d'électro-ultrafiltration.

4.3.3. Efficacité globale de l'EUF

D'un côté, l'EUF permet d'augmenter les vitesses linéaires dans la membrane et permet également de précipiter le phosphore sous une forme particulière. Par contre, de l'autre, on a que le temps de réaction nécessaire afin de réduire la concentration de phosphore soluble sous 1 mg P/L est beaucoup trop élevé, qu'une perte de charge importante est générée dans le système, qu'aucune augmentation notable des flux membranaire n'est observée comparativement à l'UF seule, qu'un colmatage irréversible se produise dans le temps, et que l'insertion d'électrodes dans des conduites pressurisées risque de poser des difficultés techniques.

Le bilan semble assez négatif, l'analyse des coûts reflète également cette vision, c'est-à-dire que les coûts augmentent sensiblement à cause de plusieurs facteurs, dont les pertes de charge, alors que les performances restent comparables à celles obtenues en ultrafiltration originale.

4.4 Couplage

Malgré le nombre important d'essais qu'il y avait à faire en UF ou en ÉÉ de façon séparée, les deux procédés en série ont pu être testés à plusieurs reprises. L'objectif premier était d'optimiser séparément l'UF et l'ÉÉ avant de constituer un procédé unifié qui pourrait être efficace autant au niveau technique qu'économique. Le postulat initial était qu'une électro-épuración en amont pourrait permettre d'éliminer une grande partie des matières en suspension et de coaguler le phosphore, et que l'ultrafiltration qui suivrait permettrait d'enlever le phosphore coagulé et toutes les matières en suspension résiduelles. Lorsque le procédé était étudié dans l'autre sens, un enlèvement complet de toute la

matière particulaire par l'UF était visé, suivi d'une coagulation du phosphore optimale comme étape finale. Il faut mentionner que l'aspect de la gestion des boues n'a pas été étudié. Cet aspect, quoique important sera à étudier sur un système à pleine échelle afin d'avoir des mesures sur des paramètres qui ne peuvent être que très vaguement évalués pour l'instant.

4.4.1. Couplage de l'UF suivie de l'ÉE

Comme mentionné précédemment, l'objectif principal des couplages était l'enlèvement du phosphore. La gestion des boues ne faisant pas partie des sujets à l'étude, les concentrations de Pt et de o-PO₄ ont été mesurées dans le surnageant de l'ÉE, ainsi que dans le perméat de l'UF (figure 4-27).

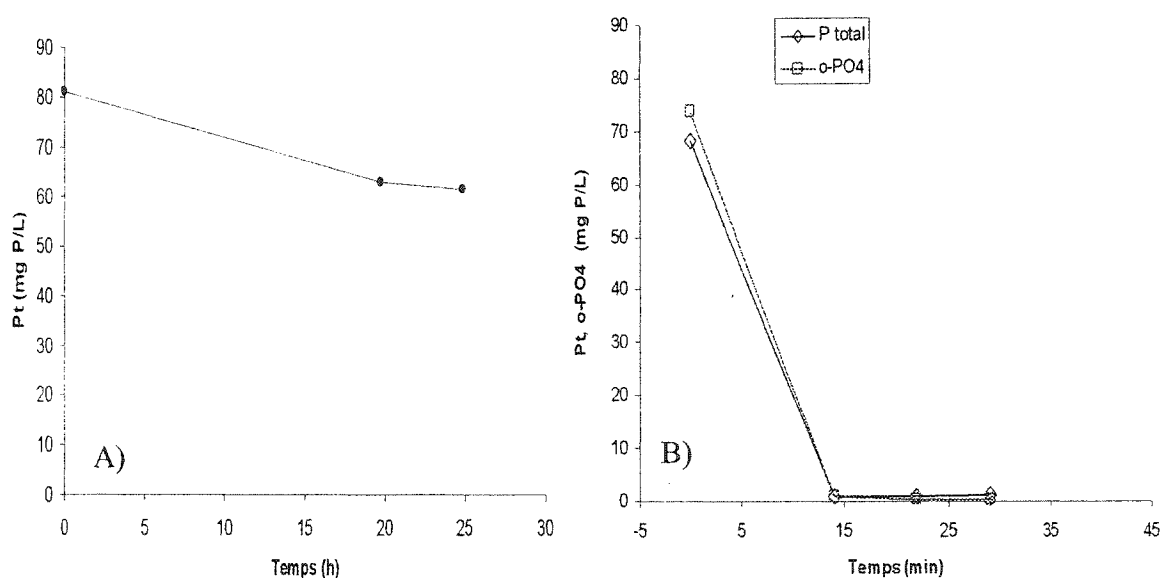


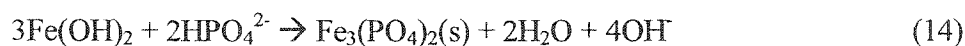
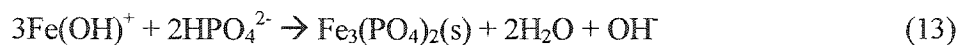
Figure 4-27 : Couplage de l'UF suivie de l'ÉE sur du surnageant de fosse (Effluent C), évolution des concentrations de phosphore dans le temps A) concentration de phosphore total dans le perméat de l'ultrafiltration au cours de 25 h de concentration, B) concentration de phosphore total et d'orthophosphates en fonction du temps en électro-épuration du perméat de l'UF. Adapté de Albert, 2002 - (12 fév. '02)

Comme on peut le noter à la figure 4-27, la concentration de phosphore total dans le perméat de l'UF semble varier dans le temps, ce qui est surprenant si on porte attention

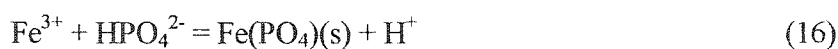
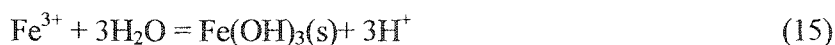
aux postulats de l'UF qui ont été établis dans la section II et à la figure 4-21 quant à la rétention du phosphore par la membrane. Par contre, un autre élément également mentionné dans la section II, concernant la couche de polarisation et la formation du gâteau peut venir expliquer en partie cette variation. Avec le tassement du gâteau de filtration, le seuil de coupure global de la membrane dynamique et de la membrane physique a probablement été réduit, empêchant partiellement le phosphore de passer dans le perméat. On note, dans la figure 4-27 B) que la concentration initiale en phosphore total et orthophosphates est approximativement la valeur moyenne des concentrations en phosphore total dans le perméat de l'UF. Ces deux concentrations d'orthophosphates et de phosphore total étant à peu près similaires, il pourrait être justifié de croire que l'effluent de l'UF contient du phosphore principalement sous forme d'orthophosphates, et que la différence soit due à l'échantillonnage ou à l'analyse.

Alors que la diminution des concentrations en phosphore soluble dans l'UF était principalement attribuée à la croissance du gâteau de filtration, la diminution observée lors de l'ÉE était plutôt causée par la coagulation du fer, entraînant le phosphore sous une forme insoluble qui décante bien. L'enlèvement du phosphore se ferait selon une série de réactions chimiques (Ghassemi *et al.*, 1971 ; Albert *et al.*, 2002) :

Pour le Fe^{2+}



Pour le Fe^{3+}



Il est possible de croire qu'une partie du phosphore soluble s'adsorbe sur les floccs d'hydroxydes de fer, alors qu'une autre partie se lierait de façon plus forte aux ions ferreux et ferrique. L'adsorption se ferait selon deux types de liaisons : ioniques et covalentes. Les liaisons covalentes seraient les plus solides, alors que les liaisons ioniques seraient plus lâches.

Toujours selon la figure 4-27 B), la diminution de la concentration de phosphore soluble se produit assez rapidement dans le procédé, puisque à 15 minutes, le deuxième point de mesure, la concentration de phosphore est déjà inférieure à 1 mg P/L. Cette concentration augmentera faiblement pour se stabiliser légèrement au-dessus de 1 mg P/L de phosphore total.

Un autre essai a été effectué sur un effluent beaucoup plus chargé en phosphore, matières en suspensions et matière organique : l'effluent frais du Filtramat. Ces résultats sont présentés à la figure 4-28.

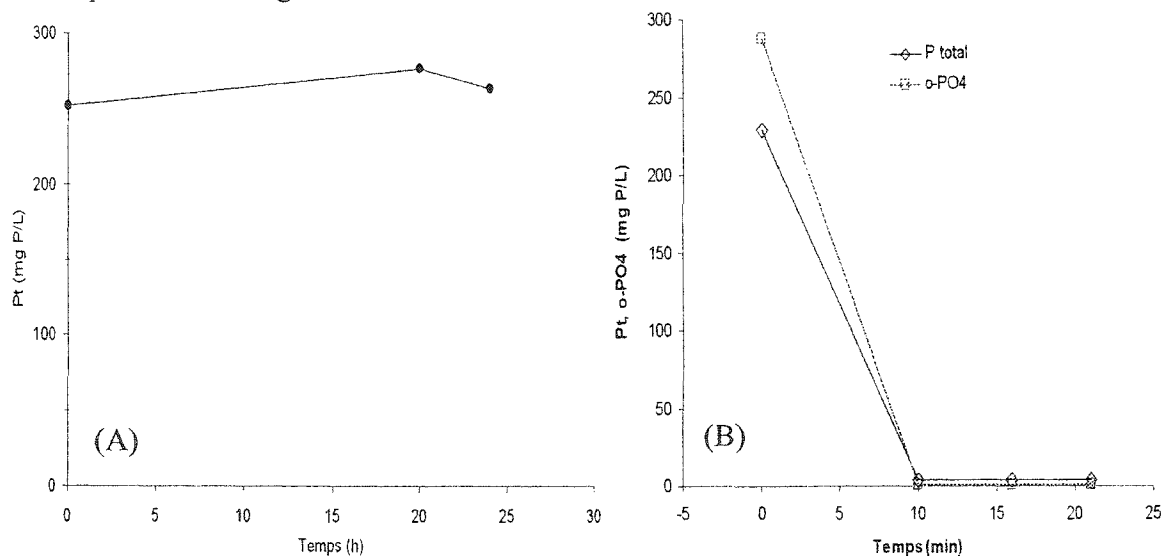


Figure 4-28 : Concentration de phosphore au cours d'un essai de couplage UF-ÉE sur du Filtramat (Effluent L), A) Concentration de phosphore total dans le perméat de l'UF et B) Concentration de phosphore total et d'orthophosphates dans le surnageant de l'électro-épuration. Adapté de Albert, 2002 – (18 fév. '02)

L'UF, dans la figure 4-28 A) présente une augmentation des concentrations de phosphore en fonction du temps, ce qui est surprenant. Cette variation pourrait être attribuée à une certaine hydrolyse anaérobie du phosphore. En raison de la grande viscosité du liquide, la température du lisier n'a pu être maintenue tout au long de l'expérimentation, et cette augmentation a pu favoriser ce phénomène. Par contre, une chose assez difficile à expliquer est le premier point de la courbe présentée à la figure B). On note que les concentrations d'orthophosphates sont supérieures aux concentrations de phosphore total. Le seul facteur qui pourrait expliquer cette différence est la présence d'ions ferreux en très grandes concentrations dans l'échantillon, qui aurait pu interférer avec le réactif d'analyse et sous-estimer les concentrations d'orthophosphates. Une erreur expérimentale peut également être en cause, lors de la filtration des échantillons. Encore ici, les concentrations de phosphore total et d'orthophosphates sont rapidement abattues à leur concentration finale en moins de 10 minutes. La concentration finale frôle le 1 mg P/L.

Ces essais, même s'ils n'ont été effectués qu'à une seule reprise donnent tout de même une bonne idée de la performance globale du système. L'efficacité de filtration, ainsi que l'efficacité à enlever le phosphore soluble étant typiques de la plupart des essais, ils ont été considérés comme représentatifs.

L'ultrafiltration étant en tête de procédé prendra toute la charge de matières en suspension et aura donc une performance plutôt pauvre par rapport à un procédé qui arriverait à enlever une partie de ces MES. L'électro-épuration, par contre, bénéficiera de l'enlèvement des matières en suspension effectué par l'ultrafiltration. Cette amélioration se traduit par une meilleure flottation, un meilleur transfert de masse entre les plaques en acier et la solution, un meilleur enlèvement du phosphore soluble et une meilleure décantation des floccs de fer formés (Albert, 2002). Un pré-traitement par ultrafiltration peut même faire la différence entre un procédé efficace et un procédé inefficace, comme présenté à la figure 4-29 dans le cas du Filtramat. Le Filtramat avait été traité avec succès selon la chaîne UF-ÉE selon les résultats de la figure 4-28.

4.4.2. Couplage de l'ÉE suivie de l'UF

Les résultats de la section précédente étant très encourageants, l'étude a été poursuivie dans la même veine, afin de déterminer si l'électro-épuration en amont de l'UF permettrait d'atteindre de meilleurs flux membranaires par une diminution des concentrations de matières en suspension. Le problème anticipé dans cette chaîne de traitement est une solubilisation du phosphore particulaire lors de l'ultrafiltration (qui a été coagulé lors de l'électro-épuration), qui ferait en sorte que le critère de 1 mg P/L soit dépassé, puisque l'UF est dans ce cas le dernier procédé.

Le traitement du Filtramat étant considéré comme la tâche la plus difficile par l'UF, il a été décidé d'abattre les concentrations de matières en suspension par l'ÉE avant de passer le liquide en UF. Les résultats de cet essai sont présentés à la figure 4-29.

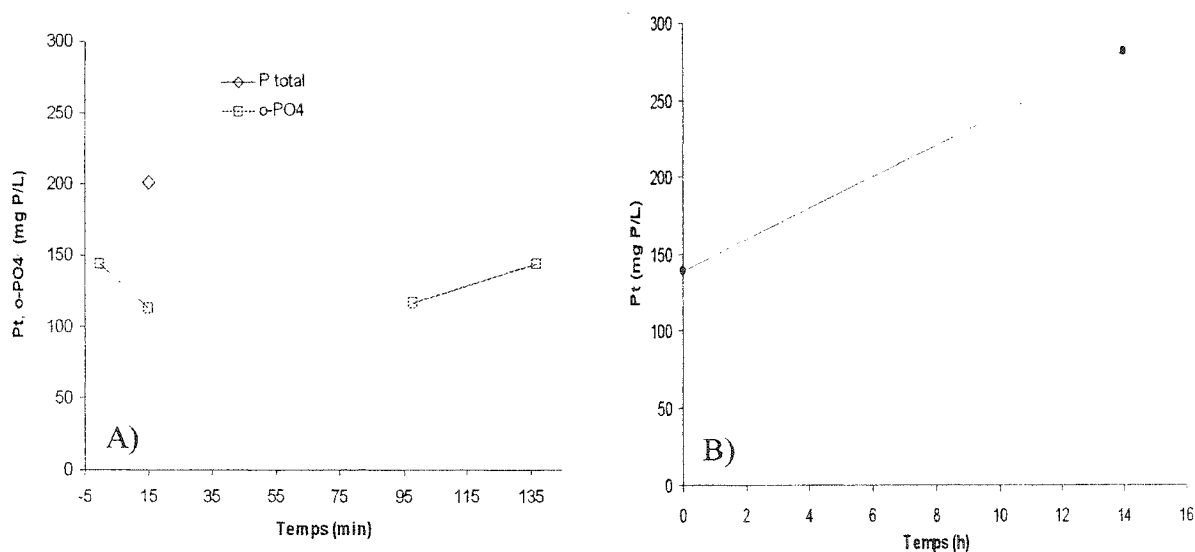


Figure 4-29 : Concentration de phosphore au cours d'un essai de couplage ÉE-UF sur du Filtramat (Effluent L), A) Concentration de phosphore total et d'orthophosphates lors de l'électro-épuration. Adapté de Albert, (2002), B) Concentration de phosphore total dans le perméat de l'ultrafiltration – (14 fév. '02)

Les résultats présentés à la figure 4-29 sont peu encourageants : l'électro-épuration au cours de 135 minutes de traitement n'a pas réussi à réduire substantiellement les concentrations en phosphore soluble. L'impact de cette incapacité à réduire le phosphore

est une concentration très élevée en phosphore soluble dans le perméat de l'UF, de l'ordre de 150 mg P/L dès le début de l'essai. L'essai de concentration n'a duré qu'environ 14 h étant donné la grande charge en matières en suspension et la viscosité importante. Ces deux facteurs ont fait en sorte que le liquide chauffe tellement que le système de refroidissement a été dépassé. Ceci démontre que le type de lisier qui sort directement du Filtramat a des caractéristiques (MES, ions, etc) qui gênent l'électro-épuration, et qui font en sorte que du phosphore est solubilisé lors de l'ultrafiltration du liquide électro-épuré, en plus de nuire à l'UF par des concentrations de MES très importantes.

Cette solubilisation du phosphore pourrait être due à plusieurs facteurs, comme le bris de particules contenant du phosphore soluble, le bris de floccs sur lesquels le phosphore soluble était adsorbé, une activité bactérienne (le lisier est tout de même frais et est traité en UF sur une période d'environ 14 h), ou au bris d'un équilibre chimique par une augmentation de température lors de la filtration. Globalement, pour l'UF, on ne note aucune variation positive dans la performance de filtration, et ce même si l'électro-épuration extrait une bonne quantité de boues par décantation. Cet enlèvement des matières en suspension par décantation à la fin du traitement en électro-épuration est probablement compensé par un ajout de floccs d'hydroxydes de fer, ces derniers s'agglomérant pour former une masse importante de matières en suspension (Albert, 2002).

L'élément de preuve qui fait le plus croire qu'un élément dans les matières en suspension bloque de façon importante l'électro-épuration est que lors de l'essai du 18 février 2002, l'ultrafiltration pré-traitait le liquide passé en électro-épuration, et lui permettait de faire baisser facilement la concentration de phosphore total sous la barre des 5 mg P/L. Or, lors du 14 février, l'électro-épuration était en tête de traitement et ne permettait pas de diminuer sensiblement les concentrations de phosphore soluble. Au cours de ce dernier essai où la performance de l'électro-épuration était très faible, un encrassement très important des électrodes est survenu, forçant une inversion de polarité très fréquente, et pratiquement aucune décantation n'a été notée dans les échantillons de surnageant, même après 12 heures (Albert, 2002). Ceci démontre que le traitement du

lisier frais par la chaîne UF-ÉE offre une alternative beaucoup plus intéressante que la chaîne ÉE-UF, du moins au niveau de l'enlèvement du phosphore soluble. Afin d'élucider ce phénomène d'enlèvement des MES au cours de l'électro-épuración, on peut porter attention à la figure 4-30. Une diminution très abrupte dans les concentrations de matières en suspension dès le début de l'essai semble survenir, cette dernière probablement due à la décantation de certains floes de matières organiques par les composés de fer. L'hypothèse avancée pour expliquer ce phénomène est celle d'un excès de coagulant : lorsqu'on ajoute le coagulant aux bonnes doses, les particules sont déstabilisées et se mettent alors à décanter. Toutefois, si la dose de coagulant est fortement dépassée, on peut se mettre à restabiliser les particules, mais avec une charge inverse à celles qu'elles possédaient au départ. Donc, en plus de stabiliser les particules, l'excès de coagulant fait en sorte que des floes de fer sont formés et rajoutent ainsi des MES (MIS dans le cas de la figure 4-30).

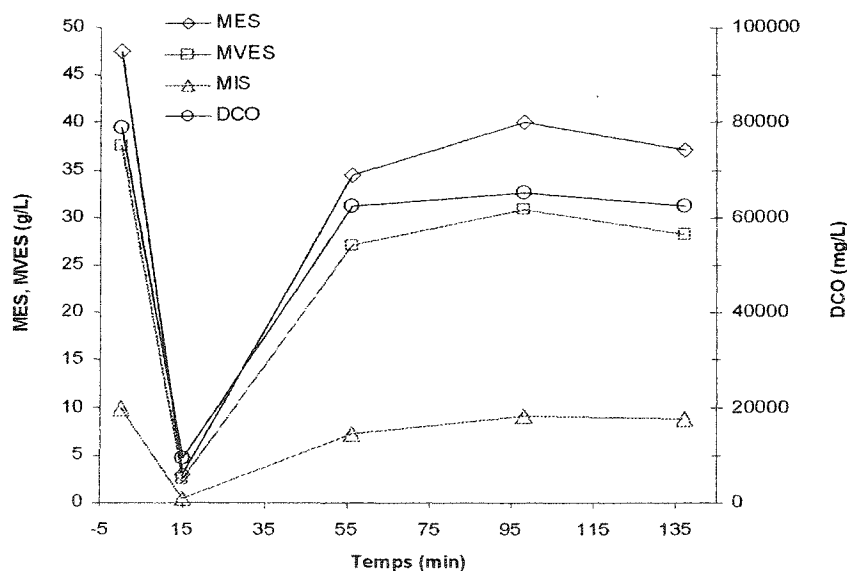


Figure 4-30 : Concentration en MES, MVES, MIS et DCO en fonction du temps pour l'électro-épuración de Filtramat (Effluent L). Adapté de Albert, 2002 – (14 fév '02)

Dans le but de déterminer si du lisier vieilli était plus aisé à traiter dans la chaîne ÉE-UF que UF-ÉE, un autre essai sur du surnageant de fosse a été effectué. Les résultats de cet essai sont présentés à la figure 4-31.

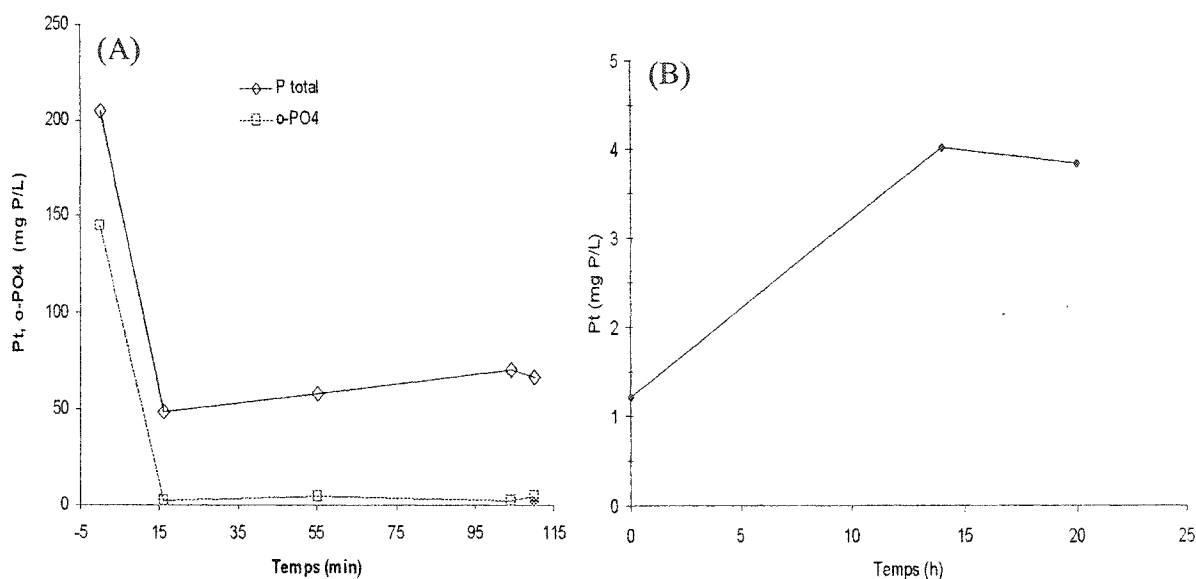


Figure 4-31 : Concentration de phosphore au cours d'un essai de couplage ÉÉ-UF sur du surnageant de fosse (Effluent C). A) Concentrations de phosphore total et d'orthophosphates en fonction du temps dans le surnageant de l'ÉÉ. Adapté de Albert, (2002) B) Concentration de phosphore total dans le perméat de l'UF - (20 fév. '02)

Cette figure montre, (figure 4-31A) que dans ce cas-ci, l'électro-épuración arrive à abattre la concentration de phosphore soluble sous la barre des 10 mg P/L, c'est-à-dire entre 2,5 et 5,0 mg P/L. Une diminution du phosphore total montre que la coagulation et décantation se produit bien dans le bassin de procédé. Le premier point de la courbe B) (UF), par contre, présente une concentration de phosphore total dans le perméat d'environ 1,25 mg P/L. Ceci est surprenant étant donné que la dernière concentration de phosphore soluble en électro-épuración est de l'ordre de 4,5 mg P/L. Le temps de décantation et de transfert du liquide d'un procédé à l'autre a peut-être permis à certaines réactions incomplètes de se terminer. En effet, il est connu que les floes formés lors de l'ÉÉ continuent à réduire la concentration en phosphore. Dans certaines installations, on prévoit même leur recyclage afin d'améliorer les performances du procédé. On note qu'au bout d'environ 12 heures de concentration, la concentration de phosphore total dans le perméat a atteint 4,0 mg P/L et se maintient à ce niveau jusqu'à la fin de l'essai. Ceci illustre que cette chaîne de traitement est relativement efficace pour abattre les concentrations en

phosphore soluble. La performance de filtration étant égale ou inférieure à une ultrafiltration sans pré-traitement laisse croire encore une fois que les concentrations de matières en suspension après l'électro-épuración sont égales ou supérieures aux concentrations retrouvées initialement dans le lisier. La figure 4-32 présente les concentrations de MES et de MVES en fonction du temps de traitement en électro-épuración.

Comme à figure 4-30, la figure 4-32 montre que les concentrations de MES et de MVES présentent une diminution entre 0 et 15 minutes, alors qu'elles se mettent à augmenter après ce dernier point. L'aspect le plus frappant est d'observer la différence entre la concentration initiale et finale en MES : il y a presque 50 % plus de MES à la fin qu'au début. L'apparition de cette quantité de matières en suspension est probablement due au surdosage de fer. Un fait vient conforter cette hypothèse : la différence entre les concentrations de MES et de MVES; selon cette comparaison, les nouvelles MES seraient principalement composées de matière inorganique (MIS).

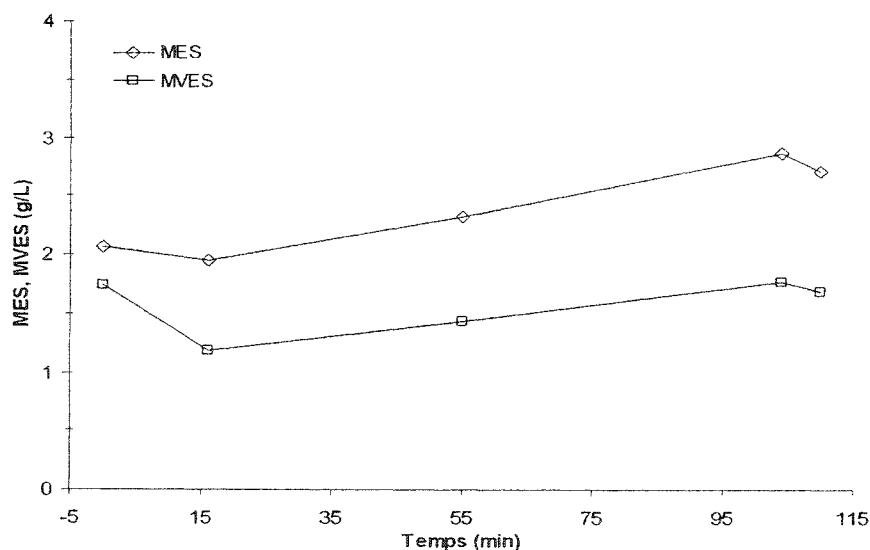


Figure 4-32 : Concentrations en MES et MVES dans le surnageant du bassin de procédé de l'électro-épuración lors du traitement de surnageant de fosse (Effluent C) – (20 fév. '02)

Le fait que du phosphore soluble enlevé en électro-épuration retourne sous forme soluble en ultrafiltration lorsque les deux procédés étaient utilisés en séquence est surprenant. La résurgence du phosphore soluble est assez faible : les concentrations passent de moins de 1 mg P/L à environ 3 ou 4 mg/L dans la plupart des essais. Un essai de couplage effectué le 20 mars 2001 confirme encore ce résiduel de phosphore soluble qui semble apparaître lors du traitement du lisier électro-épuré en ultrafiltration (figure 4-33).

Lors de l'électro-épuration dans la figure 4-33 A), Il est noté que le temps de réaction requis afin d'atteindre près de 1 mg P/L est supérieur à 60 minutes. Ceci pourrait être attribué à la très grande charge en matière organique, phosphore, etc. Les concentrations de phosphore total en font foi : près de 600 mg P/L à temps 0. Toutefois, au bout d'environ 80 minutes d'électro-épuration, la concentration en orthophosphates descend sous la barre des 1 mg P/L et s'y maintiendra jusqu'à la fin de l'ÉE. Par la suite, dès le début de l'ultrafiltration, on note que les concentrations en orthophosphates sont passées outre la barre des 1 mg P/L, et qu'elles augmenteront en fonction du temps jusqu'à environ 4 mg P/L.

Cette augmentation des concentrations en phosphore soluble est attribuée au relargage du phosphore faiblement adsorbé sur les floccs d'hydroxydes de fer. Une proportion constante de phosphore faiblement adsorbé sur l'ensemble du phosphore adsorbé pourrait faire en sorte que lorsque des forces de cisaillement importantes sont appliquées, ce phosphore faiblement lié soit relâché dans le lisier.

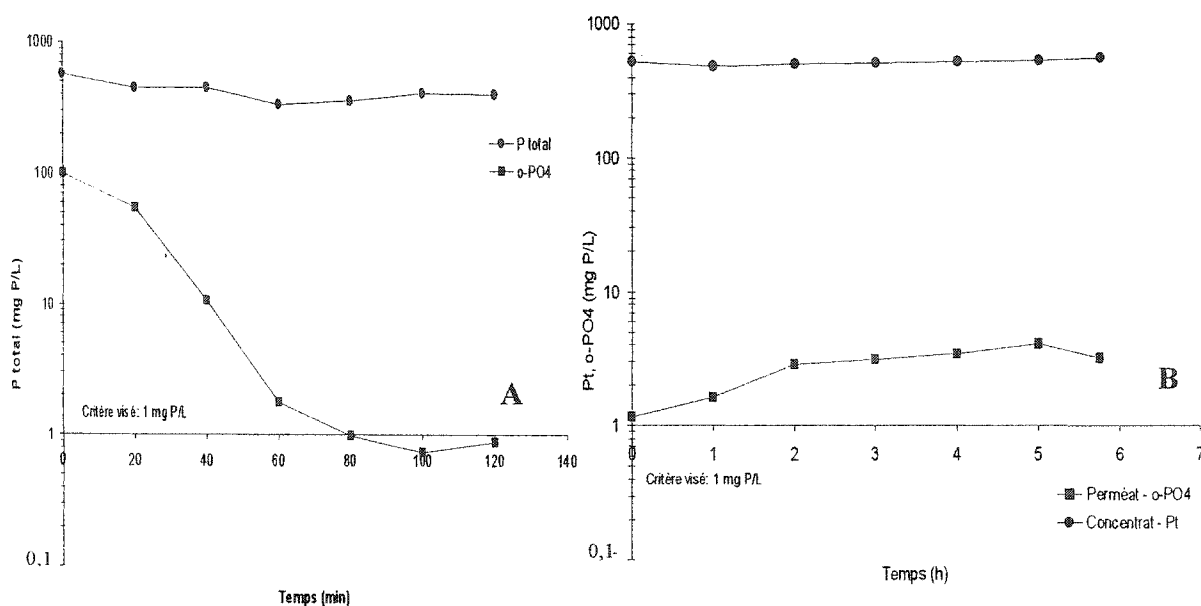


Figure 4-33 : Essai de couplage ÉE-UF sur du lisier tamisé (Effluent H), A) Concentrations de phosphore total et d'orthophosphates dans le surnageant du bassin de procédé de l'électro-épuration. Adapté de Albert, (2002) B) Concentration de phosphore total et d'orthophosphates dans le perméat de l'ultrafiltration - (20 mar. '01)

Un dernier essai a été effectué sur l'effluent de la pouponnière, un effluent très peu chargé, mais il sera tout de même testé d'étudier l'enlèvement du phosphore soluble dans un tel type de lisier. Il est à noter que le lisier que nous avons obtenu semblait très peu chargé, à des niveaux comparables à ceux atteints avec de l'effluent de FLR. Un très faible volume de ce lisier était disponible, c'est pourquoi un seul essai a été effectué. La figure 4-34 présente ces résultats.

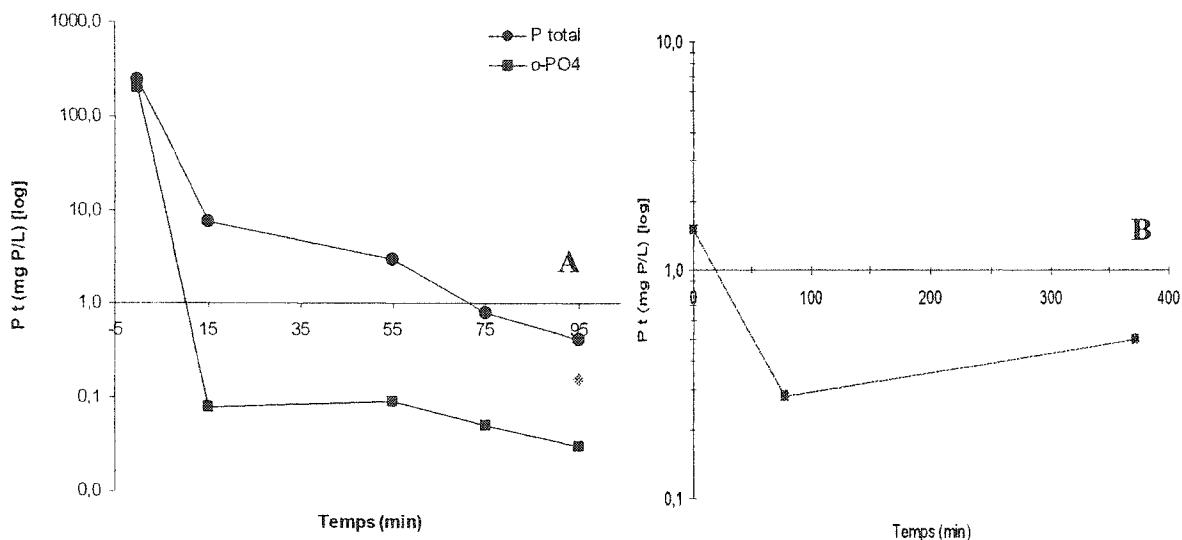


Figure 4-34 : Concentration de phosphore au cours d'un essai de couplage ÉÉ-UF sur du lisier de pouponnière (Effluent M), A) Concentrations de phosphore total et d'orthophosphates dans le bassin de procédé de l'ÉÉ. Adapté de Albert, (2002) B) Concentration de phosphore total dans le perméat de l'UF – (4 mar. '02)

À la figure 4-34, on note encore une fois que l'électro-épuration enlève très bien le phosphore soluble ainsi que le phosphore total dans l'effluent de la pouponnière, et ce à des concentrations résiduelles en phosphore inférieures à 1,0 mg P/L. Lors de l'ultrafiltration, une charge très faible en matières en suspension a été mesurée, ce qui a augmenté de façon significative les performances membranaires. C'est d'ailleurs pour cette raison que les essais de concentration en UF ont été aussi courts. On doit également noter que la concentration de phosphore total dans le perméat de l'UF se maintient sous la barre des 1,0 mg P/L. Le traitement de ce type de lisier serait donc assez aisé et efficace en ultrafiltration.

4.4.3. Analyse économique

L'analyse précise des coûts de traitement étant impossible due à la grande variation entre les résultats obtenus, il a été décidé de plutôt déterminer les plages de valeurs obtenues dans les différentes conditions (tableau 4-3).

Tableau 4-3 : Flux membranaires, facteurs de concentration volumiques et coût global atteints lors de la concentration des différents types de lisier.

	Flux memb. typiques ($L \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$)				FCV				K/Qw (\$US/m ³)			
	S.Fosse	L.Tamisé	Filtramat	FLR	S.Fosse	L.Tamisé	Filtramat	FLR	S.Fosse	L.Tamisé	Filtramat	FLR
UF	10 - 20	10 - 36	5 - 20	20 - 70	2,38	3,3	1,7	6,6	2,0 - 4,0	1,2 - 3,5	2,4 - 8,0	0,5 - 1,5
EUF v.1	20 - 25	15 - 30	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
EUF v.2	12 - 28	13 - 30	X	21 - 50	3,2	2,63	X	X	1,5 - 3,5	3,5 - 6,0	X	0,9 - 2,4
Couplage (ÉE-UF)	14 - 30	X	8 - 20	X	2,9	X	2,1	X	1,4 - 3,2	X	1,6 - 4,6	X

4.4.3.1. UF

Les données présentées dans ce tableau ont permis de conclure que l'UF est le type de procédé sur lequel le plus d'essais ont été effectués et il est le procédé qui a montré une stabilité des résultats et de l'état des membranes dans le temps. Ce procédé, génère des flux membranaires faibles et atteindre des facteurs de concentration volumique importants. Les variations notées sont expliquées principalement par des petits changements dans la méthodologie, dans la nature du lisier traité, ainsi que par les conditions expérimentales.

4.4.3.2. EUF 1

N'ayant servi qu'à peu d'essais, l'EUF 1 s'est rapidement avérée un échec étant donné que les pertes de charges dans le module d'UF étaient très élevées, que les flux membranaires solvant diminuaient rapidement et que les flux membranaires étaient du même ordre que ceux atteints avec l'UF classique. Les quantités de données pour ce procédé sont assez limitées, mais nous permettent tout de même d'observer qu'aucun effet positif de l'EUF sur les performances membranaires n'a ainsi été noté.

4.4.3.3. EUF 2

Dans sa version améliorée de l'EUF 1, l'EUF 2 a réussi à corriger une partie des problèmes rencontrés lors des essais en EUF 1. Les problèmes de court-circuitage et l'augmentation drastique des pertes de charge. Par contre, même si l'EUF 1 obstruait environ 90% de la section d'écoulement lorsqu'elle était colmatée, on n'a observé aucune amélioration des performances membranaires comparativement à un module sans EUF. Ceci porte à croire que l'EUF ne permet pas d'augmenter la turbulence, et que l'augmentation des vitesses linéaires dans la membrane ne permet pas de réduire le colmatage effectué par le gâteau de filtration. Ceci est de très mauvais augure pour l'EUF 2. Cette dernière, par contre, n'obstrue qu'environ 30 % de la section d'écoulement, et vise la production de gaz à la cathode en acier inoxydable. Elle n'a pas été touchée par le colmatage de l'espace inter-électrode même si on a noté une diminution des flux solvant. Cette EUF 2 offre des performances et coûts similaires à ceux obtenus en UF seule, ce qui ne réussit pas à justifier son existence.

4.4.3.4. Couplage UF suivie par l'ÉE

Comme mentionné précédemment, les performances membranaires observées dans la séquence UF-ÉE devraient être exactement les mêmes que celles rencontrées en ultrafiltration originale.

4.4.3.5. Couplage de l'ÉE suivie de l'UF

L'ultrafiltration aurait pu bénéficier d'un enlèvement des MES par l'ÉE. Par contre, aucun enlèvement des MES lors des essais d'électro-épuration n'a été observé. Dans certains essais, il a été noté que des concentrations de matières en suspension étaient supérieures à la fin de l'essai comparativement au début, ces variations ont été attribuées principalement à l'ajout de matières en suspension inorganiques (flocs de fer). Toutefois, ceci a eu un effet négligeable sur les flux membranaires et facteurs de concentration volumiques atteints.

4.4.4. Conclusion préliminaire

Selon les données actuellement disponibles, aucune amélioration des performances membranaires n'a pu être atteinte lorsqu'un pré-traitement en électro-épuración est effectué. Ce pré-traitement est plus susceptible de rajouter une charge de MES due aux floes de fer formés dans le procédé, comme exposé précédemment. De plus, l'ultrafiltration comme traitement en aval de l'électro-épuración a montré qu'une certaine solubilisation du phosphore particulaire peut se produire (produisant un résiduel d'environ 4 mg P/L). Un autre problème dans cette séquence est le dépôt de matière organique à la surface des électrodes, provenant majoritairement des MES. Cette accumulation diminue l'efficacité de la solubilisation du fer et donc peut augmenter les temps de traitement.

La chaîne UF-ÉE, permet d'éviter ces problèmes en s'assurant que les MES soient enlevées dès la première étape du traitement. De plus, dans le cas de la valorisation des boues générées dans le concentrat de l'UF, on n'a pas à se préoccuper des concentrations de fer. Un dégrillage, ainsi qu'un premier tamisage en amont de l'UF sont toutefois nécessaires comme étapes préliminaires afin de diminuer la charge de MES.

Sur la base de ces informations, il a été déterminé que pour une chaîne de traitement physico-chimique visant à hygiéniser l'effluent et à diminuer la charge de matières en suspension et de phosphore total, l'ordre UF-ÉE soit la séquence de traitement la plus efficace et la plus économique.

4.5 Analyse comparative

Cette étude étant relativement spécifique au lisier de porc, qui est un effluent très chargé, il est assez difficile de comparer les résultats obtenus avec les résultats d'autres études. L'exercice sera tout de même tenté, afin d'avoir une idée générale de la comparaison entre le lisier de porc et le traitement d'autres effluents. Un paramètre qui est manquant dans la grande majorité des études théoriques et pratiques, et qui pourrait s'avérer critique d'obtenir, est le facteur de réduction volumique obtenu lors des essais.

Plus ce facteur de réduction volumique sera important, plus les coûts engendrés par la filtration seront élevés.

Cette analyse se voudra économique (comparaison avec les essais effectués par Belhocine *et al.*, 1998) et technique (comparaison des flux membranaires obtenus).

4.5.1. UF

En comparant les coûts globaux (K/Q_w) en fonction de U obtenus lors des essais avec les coûts globaux que Belhocine *et al.* (1998) ont obtenus lors de leurs essais, on réalise que les deux expériences sont totalement différentes. Ces derniers (Belhocine *et al.*, 1998)) utilisent des membranes organiques *PCI* à des vitesses tangentielles entre 0,2 et 0,6 m/s sur un effluent d'abattoir. Ces vitesses sont très faibles si on les compare aux vitesses entre 2 et 3 m/s habituellement utilisées au cours de nos essais. Conséquemment, les coûts globaux observés dans les expériences leurs membranes *PCI* sont faibles : entre 0,5 et 1,5 \$US/m³. Le module utilisé dans les essais s'apparente plus à l'opération de la membrane *Ceraver* (céramique), opérée entre 1,5 et 6,0 m/s avec des coûts globaux plus élevés : entre 1,5 et 4,0 \$US/m³. Cette différence dans les coûts est peut-être expliquée par l'utilisation de plus grandes vélocités et pressions avec la membrane *Ceraver* qu'avec la *PCI* avec une augmentation des flux de perméat trop faible pour contrebalancer cet effet.

Lors d'essais de concentration, par contre, Belhocine *et al.* (1998) ont noté que pour obtenir un facteur de réduction volumique de 3 et 5 pour la membrane *PCI* et *Ceraver* respectivement, les flux membranaires diminuaient de 55 % et 75 %. Les facteurs de réduction volumique obtenus lors de nos essais se retrouvant typiquement entre 2 et 3,5, les flux membranaires diminuent typiquement de 50 à 70 %. Ces données collent tout de même assez bien avec les résultats obtenus par Belhocine et son équipe.

La comparaison directe de tous les aspects étant impossible avec les essais de Bellhocine *et al.* (1998), il va falloir se limiter à comparer les flux membranaires obtenus dans nos essais avec ceux présentés dans la littérature. Les principaux essais d'ultrafiltration qui ressemblent le plus à ceux qui ont été effectués sont présentés au tableau 4-4.

Tableau 4-4 : Flux membranaires en en conditions réelles selon la littérature

Type de membrane	Seuil de coupure (Da)	Type d'eau	Flux membranaire (L m ⁻² h ⁻¹)	Auteur	Année
Polyacrylonitrile	13 000	Eau brute - stat. trait. eau potable	80	Foot et. al	1998
Céramique	15 000	Dextran	7-65	Yeh et. al	2000
Polysulfone	100 000	Eaux usées municipales	20-40	Bourgeois	2001
Polysulfone	20 000	Erythromycine	10-18	Liu et al.	1998
Cellulose	10 000	Effluent de poissonnerie	15-23	Rodriguez-Estra	1994
Polysulfone	20 000	Albumine de bœuf	80-100	Jaffrin et al.	1994
PCI	20 000	Effluent d'abattoir	18-20	Bellhocine et al.	1998
PCI	20 000	Effluent de poissonnerie	55-90	Mameri et al.	1998
?	50 000	Eau usée commerciale	40	Peters et al.	2000

La gamme de flux présentés au tableau 4-4 est assez large, entre 10 et 80 L m⁻² h⁻¹. La plupart des membranes utilisées lors de ces essais étaient des membranes organiques, ces dernières étant les plus répandues sur le marché et les moins coûteuses. On peut avancer que le traitement du lisier de porc est relativement ardu, et que les flux membranaires moyens obtenus lors du traitement de cet effluent sont parmi les valeurs les plus faibles rencontrées en ultrafiltration (10-20 L m⁻² h⁻¹) pour un facteur de concentration volumique entre 1,5 et 3.

De façon typique, les facteurs de concentration volumique obtenus dans la plupart des essais se situent entre 2 et 5; les effluents les plus dilués obtenant les facteurs de concentration les plus élevés.

4.5.2. EUF

Aucune étude recensée lors de cette étude ne faisait mention de l'impact de l'absence de nettoyage physique sur les flux membranaires. La plupart des études ne font que mentionner qu'un lavage au chlore et avec certains savons doit être effectué, mais sans plus. Il a été noté que lorsque les billes de mousse n'étaient pas passées entre chaque essai, les flux membranaires solvant périllicitaient très rapidement, et que la membrane perdait sa performance de façon permanente. Plusieurs astuces ont toutefois été essayées afin d'effectuer un lavage vigoureux : utilisation d'eau chaude, de savon, d'eau légèrement

chlorée, de pH élevés et faibles. Rien n'y fit, et il fallut se résigner à remplacer les membranes colmatées.

Hormis l'étude de Yeh *et al.* (2001), aucune étude n'a porté sur la promotion de turbulence par l'insertion d'une tige à l'intérieur du canal d'écoulement en UF. Cette étude a été menée en 2001 avec du dextran, une substance pure habituellement utilisée lors d'études théoriques. L'appareillage utilisé s'adressant principalement à la réduction de la couche de polarisation, il est possible de croire que son impact soit réduit sur un gâteau de filtration. Les flux obtenus avec du dextran se situent entre 7,2 et 14,4 L m⁻² h⁻¹, ce qui est relativement faible. De plus, les vitesses d'écoulement dans leur membrane de filtration (6 mm de diamètre) sont très faibles : entre 0,059 et 0,147 m/s. L'étude conclut que théoriquement, une amélioration notable des flux membranaires peut être atteinte lorsque 90% du diamètre du canal d'écoulement est obstrué par la tige insérée (figure 4-35).

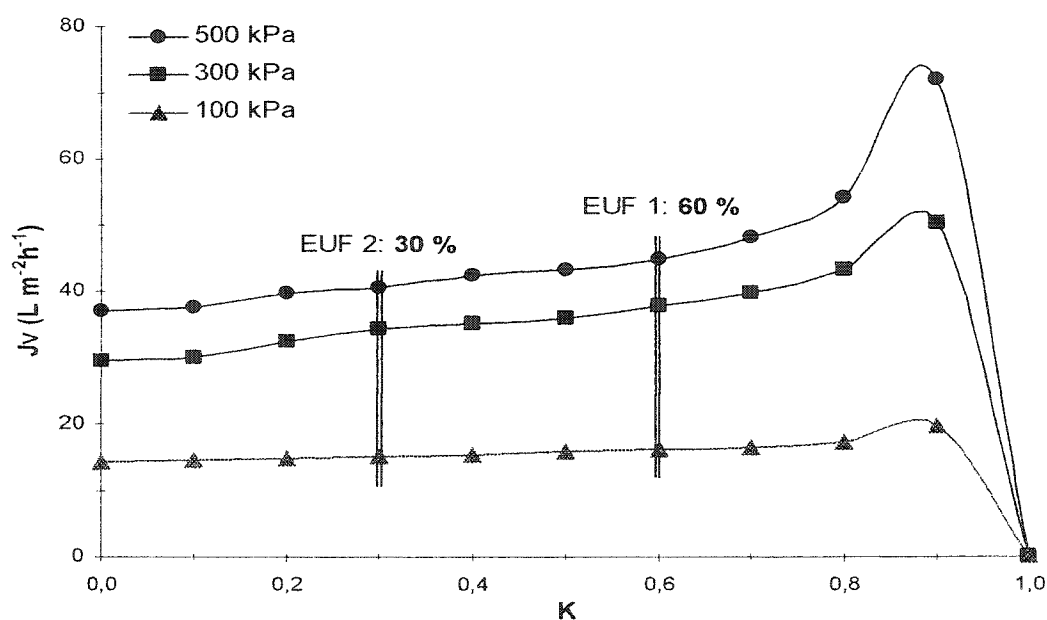


Figure 4-35 : Flux membranaires prédits par le modèle de Yeh *et al.* (2000) en fonction du rapport « rayon de la tige insérée sur rayon du canal d'écoulement »

Cette figure, qui aurait été bien utile lors de la conception du système d'EUF permet d'obtenir un éclairage différent sur les résultats. La majorité de nos essais en EUF ont été effectués entre 100 et 300 kPa et n'ont pas montré d'augmentation significative des flux de perméat, et ce modèle vient confirmer ces résultats. Afin d'avoir une augmentation significative des flux membranaires, il aurait fallu fonctionner à près de 500 kPa, et avoir une tige obstruant entre 80 – 90 % de la section d'écoulement, ce qui a été atteint en partie. En effet, lors de l'EUF 1, lorsque le colmatage est devenu assez important, et que l'espace inter-électrode était obstrué, environ 90 % de la section d'écoulement était colmatée. Toutefois, cette obstruction n'a eu aucun effet notable sur les flux membranaires, mais a créé des pertes de charges tellement grandes qu'il a fallu limiter les vitesses linéaires utilisées pour ne pas endommager trop le module d'EUF. Ce système est probablement efficace seulement pour réduire l'épaisseur de la couche de polarisation, couche dynamique qui a probablement un effet négligeable en comparaison de l'effet du gâteau. Les supports du module ont été retrouvés tordus et étirés lors du démontage du système.

Pour une mise à l'échelle de l'EUF, il faudrait un nombre important de membranes du type qui ont été utilisées lors des essais, avec des électrodes insérées. Ceci revient à dire que ce type de promotion de turbulence et d'augmentation des vitesses linéaires à la surface de la membrane n'est pas viable. Les pertes de charges engendrées par un tel système seraient tellement grandes que la filtration pourrait s'avérer beaucoup plus coûteuse avec que sans EUF. L'entretien et l'installation de ces électrodes étant beaucoup trop onéreux, il faut en venir à la conclusion que ce type de système n'était pas du tout viable, que ce soit avec un simple soluté comme le dextran ou avec des eaux usées.

Lors des essais en EUF 2 sur du lisier de porc, plusieurs expériences ont été testées afin d'installer un appareil permettant d'inverser périodiquement la polarité des électrodes, ce qui permettrait de décoller la matière organique et les contaminants lors de l'opération de ce système. Par contre, tous les essais se sont soldés par des échecs, et l'idée d'un promoteur de turbulence inséré dans la membrane a été abandonné pour les raisons ci-mentionnées.

4.6 Caractérisation du lisier de porc

Le lisier de porc est principalement composé de fecès et d'urine dilués dans un certain volume d'eau de lavage. La composition variera en fonction du régime alimentaire des porcs, ainsi que par leur stade de développement. De façon générale, les principaux éléments constitutants du lisier de porc sont la matière organique, l'azote (NTK), le phosphore (Pt) et les matières en suspension. La composition moyenne du lisier de porc par rapport au poids humide total selon Garzon (2001) et de 8,3 % pour la matière sèche, 6,7 % pour la matière organique, 2,6 % pour le carbone total, 0,61 % pour l'azote total, 0,33 % pour les phosphates et 0,31 % pour l'azote ammoniacal.

Entre le moment où le lisier brut sort de la porcherie et le moment où le lisier est épandu sur les champs, le lisier est entreposé dans une fosse de stockage où il subit une décantation, ainsi qu'une dégradation anaérobie. Ce dernier lisier dégradé possède des caractéristiques différentes du lisier brut (Tableau 4-5)

Tableau 4-5 : Caractérisation du lisier de porc brut et vieilli – Adapté de Garzon (2001)

Paramètre	Lisier brut mg/L		Lisier décanté mg/L	
	Variation	Moyenne	Variation	Moyenne
DBO ₅ (mg/L)	10 000 - 20 000	13 000	7 200 - 9 600	8 500
MeS (mg/L)	10 000 - 20 000	16 000	730 - 1 600	940
Ptot (mg/L)	500 - 900	650	180 - 200	190
NTK (mg/L)	2 000 - 3 800	2 300	1 600 - 1 800	1 700

On remarque dans le lisier décanté (vieilli) que les concentrations en MES, Pt et DBO₅ ont diminué de façon assez importante au cours du traitement anaérobie. Toutefois, ces valeurs semblent assez optimistes si on les compare aux résultats que nous avons obtenus lors de nos essais. Habituellement, les concentrations de MES ne diminuaient pas sous la barre de 2 g/L, alors que le phosphore total se situait très souvent au-delà de 200 mg P/L). De plus, si on compare ces résultats avec ceux présentés dans la figure 4-36, on remarque tout de même que les valeurs concernant le lisier tamisé et le « lisier brut » de la figure 4-36α se ressemblent beaucoup.

Un facteur qu'il aurait été intéressant de mesuré, et qui n'a pas été trouvé dans nos recherches dans la littérature est la granulométrie des différents types de lisier. Ceci pourrait permettre une optimisation de la taille du tamis installé en amont du procédé d'UF.

4.7 Retour sur les objectifs de traitement

Lors des essais, des prélèvements avant et après l'ultrafiltration ont été effectués, afin de déterminer si les objectifs de traitement qui avaient été fixés au départ étaient rencontrés. Les résultats avant/après l'UF seule sur du lisier tamisé, du surnageant de FLR et du surnageant de fosse sont présentés au tableau 4-6.

Tableau 4-6 : Rendement épuratoire de l'UF.

Description	L.T.	L.T. UF	S.FLR	S.FLR UF	S.Fosse	S.Fosse UF
	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne
MT	12000	5000	2500	2000	20000	7000
MES	7000	0	500	0	13000	0
DCO totale	41000	20000	500	160	30000	15000
DBO ₅ carbonée	16000	nd	130	nd	nd	nd
Azote total Kjeldahl	1800	900	695	nd	nd	nd
P total	1190	150	40,5	30	160	80
Coliformes	14400	< 10	43700	< 10	nd	nd

Note : nd = non disponible

On note que le surnageant de fosse possède une plus grande concentration de matières en suspension que le lisier tamisé. Par contre, le diamètre des particules étant plus petit peut faire en sorte que le lisier ait des propriétés différentes. Les objectifs concernant les concentrations en phosphore total ne sont pas rencontrés, et nécessiteront un post-traitement en électro-épuration.

4.7.1. Hygiénisation

La contrainte principale dans le rejet au cours d'eau et dans le recyclage de l'eau dans la porcherie étant l'hygiénisation, il a été tenté de quantifier l'enlèvement des micro-organismes pathogènes par le procédé d'UF. Comme la taille des pores de la membrane est inférieure à la taille des micro-organismes, un enlèvement de près de 100 % était escompté. C'est ce qu'on note au tableau 4-7.

Tableau 4-7 : Concentrations en coliformes totaux et fécaux dans des échantillons de lisier de porc et de FLR.

Éch.	Description de l'échantillon	Col. Totaux UFC/100 ml	Col fécaux UFC/100 ml
A1	Lisier de porc tamisé vieilli	14430 ± 5800	<20
A2	Lisier de porc tamisé vieilli ultrafiltré	<10	<20
A3	Effluent de FLR	43667 ± 10700	8200 ± 2000
A4	Effluent de FLR ultrafiltré	<10	<20

Comme prévu, les micro-organismes pathogènes sont enlevés à une proportion de plus de 99,9 %. On note de plus que le lisier de porc vieilli ne contient pas des concentrations détectables de coliformes fécaux, alors que l'effluent du FLR en contient. Ceci est probablement dû à la sélection compétitive des micro-organismes dans un milieu fermé qu'est le décanteur du tamis tangentiel.

Le procédé d'électro-épuration seul n'arrive pas à abattre ces concentrations (Albert, 2002) et nécessitera soit un procédé de filtration comme l'UF en amont ou en aval, soit l'injection de polymères en aval de l'ÉE afin de permettre un enlèvement efficace d'un nombre significatif d'organismes pathogènes.

4.7.2. Bilans de masse

Un bilan de masse typique est présenté à la figure 4-36.

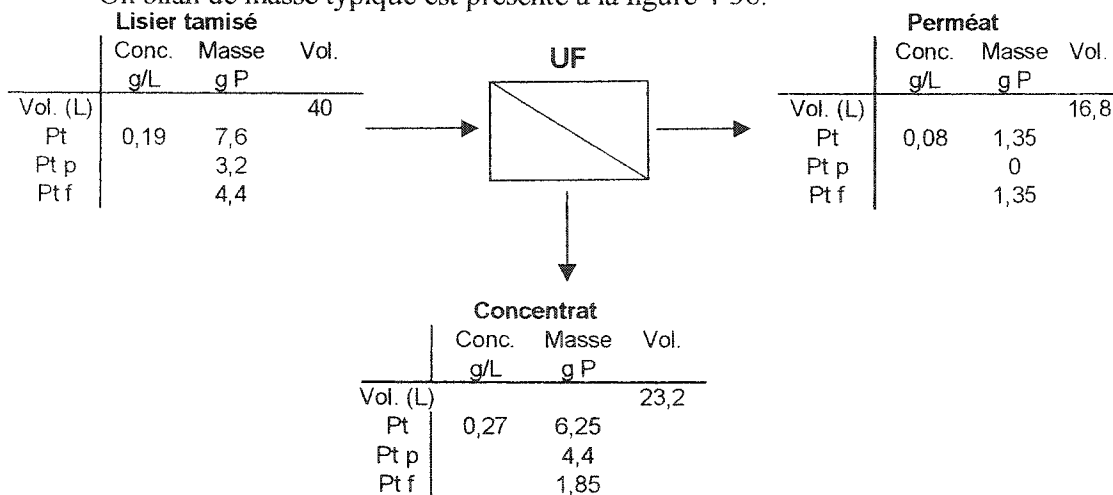


Figure 4-36: Bilan de masse typique pour l'ultrafiltration de lisier tamisé

Les bilans suivis n'ont pas été effectués pour tous les essais étant donné que l'ultrafiltration ne dénature pas les constituants, mais consiste plutôt en un procédé de séparation. On sait que globalement, les espèces solubles passeront la membrane, alors que les autres seront retenues. Il faut de plus noter qu'un dépôt de matières en suspension dans le bassin de concentrat nous a empêché de boucler la plupart des bilans de masse.

Le problème majeur du lisier de porc étant le phosphore, il a été cru bon d'effectuer un exemple de bilan de masse sur cet élément. Cet essai n'a atteint qu'un faible facteur de concentration volumique (1,7), même si le volume de lisier aurait permis une plus grande concentration du lisier. Tout le P total filtré aurait dû passer du côté du perméat, ce qui n'a pas été le cas. On a cru que cette variation est due à la différence de porosité entre les membranes de filtration. Pour déterminer le P total filtrable dans le lisier initial, ainsi que dans le perméat, des membranes de $0,45\ \mu\text{m}$ ont été utilisées. Le phosphore a ensuite été dosé dans le filtrat. Le perméat de l'UF, lui, a été filtré sur la membrane d'UF ($0,05\ \mu\text{m}$), puis les concentrations de phosphore total ont été mesurées. Des colloïdes contenant du phosphore ont très bien pu passer la membrane de $0,45\ \mu\text{m}$ et être arrêtés par la membrane d'ultrafiltration. On note de plus que la plus grande partie du phosphore total se retrouve dans le concentrat (notamment sous forme particulaire).

4.8 Coût d'achat et de fonctionnement d'un système de membranes

Deux méthodes ont été utilisées pour estimer les coûts d'achat et de fonctionnement d'un système de filtration membranaire. La première méthode, évaluant la capitalisation ne tient compte que du débit de perméat, alors que la seconde méthode se base sur des résultats expérimentaux de flux membranaires qui serviront à déterminer la surface membranaire nécessaire au traitement d'un volume quotidien de $18\ \text{m}^3/\text{d}$. Les données fournies par ces deux tableaux seront analysées et examinées en fonction des différents coûts d'opération entraînés par l'utilisation de membranes.

Tableau 4-8: Capitalisation pour deux systèmes de traitement, de 18 et de 50 m³/d.
Les unités de Q sont en US gpd. Adapté de Wiesner *et al.* (1999).

Coûts des équipements en dollars US			18 m ³ / d	50 m ³ / d
	Formule	Unités	\$	\$
Pompes	Coût - pompes	-	\$5 000	\$7 000
Tuyaux / valves	$c=17.64(Q)^{0.42}$	Q=gpd	\$618	\$949
Instrumentation	$c=8.15(Q)^{0.66}$	Q=gpd	\$2 178	\$4 275
"housing" (inc. memb.)	$c=628.09(Q)^{0.32}$	Q=gpd	\$9 434	\$13 082
Excavation et travail	$c=52.16(Q)^{0.39}$	Q=gpd	\$1 417	\$2 111
Béton	$48.84(Q)^{0.44}$	Q=gpd	\$2 026	\$3 176
Travail d'installation	$4.14(Q)^{0.71}$	Q=gpd	\$1 690	\$3 490
		Sous-total (US)	\$22 363	\$34 083
	Taux change: 1.48	Total \$can	\$33 098	\$50 443

Ce tableau donne une idée de la capitalisation nécessaire pour l'achat d'un module de filtration dépendamment du volume de lisier à traiter. Un prix final de 33 100 \$ pour un module pouvant traiter 18 m³/d et un prix de 51 000 \$ pour un module traitant 50 m³/d est ainsi prédit. On s'aperçoit que la diminution de prix en fonction du débit de perméat n'est pas linéaire, notamment à cause de l'économie d'échelle.

Tableau 4-9 : Capitalisation selon l'aire membranaire totale

	MES	Flux perm.	Surface totale	Coût (\$ US)	Coût (\$ Can) 50 m ³ /d	Coût (\$ Can) 18 m ³ /d
Eau grise ¹	18 g/L	21 L m ⁻² h ⁻¹	100 m ²	\$100 000	\$148 000	\$98 667
Plasma prot. ² mem. pci (org)	70 g/L	20 L m ⁻² h ⁻¹	104 m ²	\$104 000	\$153 920	\$102 613
Plasma prot. ² mem. céramique	70 g/L	30 L m ⁻² h ⁻¹	70 m ²	\$70 000	\$103 600	\$69 067
Poissonnerie ³ mem. pci (org)	15 g/L	60 L m ⁻² h ⁻¹	35 m ²	\$35 000	\$51 800	\$34 533
Poissonnerie ⁴ mem. céramique	15 g/L	60 L m ⁻² h ⁻¹	35 m ²	\$35 000	\$51 800	\$34 533

Note : 1 = Étude de Brugger *et al.* (2000) ; 2 = étude de Belhocine *et al.* (1998) ; 3 = étude de Mameri *et al.* (1996).

Dans cette méthode d'évaluation des coûts de capitalisation (tableau 4-9), on a obtenu les flux de perméat en eau très chargée en matières en suspension pour différentes membranes organiques et inorganiques. Le débit quotidien (18 000 L/d) a été divisé par le flux de perméat, ce qui a donné la surface totale de membranes nécessaire pour traiter tout l'affluent. Par la suite, l'aire totale a été multipliée par 1000 \$ / m² de surface membranaire (Brugger *et al.*, 2000), ce qui donne une idée des coûts totaux pour un module complet. Cette approche se base donc plus sur un coût par unité de surface membranaire que par coût en fonction du débit. Cette approximation est bonne jusqu'à de faibles aires membranaires (environ 200 m²) (Brugger *et al.*, 2000), donc la surface de notre étude, de l'ordre de 70 m² devrait encore être dans la gamme. Pour ce qui est du 18 m³/d, on divise le prix final obtenu pour le 50 m³ (70 m² de surface membranaire) par 1.5. Cette dernière approximation a été établie sur observation des différents prix pour des modules.

Il faut remarquer que les prix estimés varient beaucoup (d'un facteur trois). Tout ceci est causé par la variation dans le flux de perméat. Plus celui-ci sera élevé, moins la surface membranaire sera importante et moins le coût d'achat sera grand. Le flux de

perméat n'est pas prédictible selon des modèles théoriques. Il variera selon le type de membrane utilisé, des pressions utilisées (paramètres d'opération) et des caractéristiques de l'affluent. Il est donc important de faire des essais directement sur le liquide à traiter, de caractériser et d'optimiser les paramètres d'opération. La plupart du temps, les équipementiers mènent des études pilote avant d'effectuer le dimensionnement final.

4.9 Coûts d'opération

Nous avons tenté de déterminer le coût d'exploitation d'un système d'UF, et de comparer ce coût avec le coût d'opération d'une cellule d'UF (tableau 4-10) :

Tableau 4-10 : Estimation des coûts d'exploitation d'un système membranaire (\$ / m³ traité).

Débit traité	18 m ³ / d	50 m ³ / d
Capitalisation en \$ canadiens	33000	51000
Énergie électrique	\$0,09	\$0,09
Remplacement membranes (2 ans)	\$0,30	\$0,30
Consommables	\$0,04	\$0,04
Maintenance (3%)	\$0,16	\$0,09
Interet sur investissement (3%)	\$0,16	\$0,09
Amortissement (sur 15 ans)	\$0,34	\$0,19
Capacité / année	6500 m ³	18250 m ³
Total (\$ CAN/m³)	\$1,08	\$0,79

Ce tableau a été extrapolé à partir de valeurs communément retrouvées dans la littérature et employées dans les études de Brugger *et al.* (2000) et Belhocine *et al.* (1998). Les nombres 33 000 \$ et 51 000 \$ ont été pris dans les tableaux 4-9 et 4-8. Ils servent de montant de capitalisation de base. La plupart des valeurs et des pourcentages présentés dans ce tableau ont été tirés des valeurs utilisées dans l'industrie pour effectuer les analyses technico-économiques. On observe que le coût par mètre cube est supérieur à débit de 18 m³/jour qu'à 50 m³/jour. Toutefois, malgré les différentes études qui ont été menées sur le sujet, il est toujours difficile d'évaluer précisément le coût d'opération d'un tel système.

La différence entre les coûts estimés pour l'optimisation du fonctionnement de la cellule d'UF selon le modèle de Belhocine *et al.* (1998), et les coûts obtenus dans cette évaluation économique en tenant compte de l'ensemble du procédé et de son environnement est d'environ un dollar canadien et demi par mètre cube pour le traitement du lisier de porc. Cette différence peut s'expliquer par l'effet d'échelle, en ne perdant pas de vue que la première technique a pour objectif de déterminer les conditions optimales de fonctionnement et non d'évaluer le prix de revient du mètre cube traité. Il est clair que pour avoir une idée précise du prix de traitement du mètre cube de lisier, il faut utiliser la deuxième technique, largement utilisée par les bureaux d'étude et les équipementiers.

4.9.1. Dimensionnement

En utilisant l'équation (7) de la section II, on peut déterminer de façon très approximative le dimensionnement d'une unité d'UF.

Sur $18 \text{ m}^3/\text{d}$, qui est la taille approximative d'une petite ferme, nous pouvons viser un FCV 3, ce qui générerait un volume de boues de $6 \text{ m}^3/\text{d}$. De tout le volume, $12 \text{ m}^3/\text{d}$ de lisier seraient alors passés dans le perméat. Nous estimons le flux membranaire à $15 \text{ Lm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ et le temps d'opération quotidien de 12h.

En appliquant directement l'équation 7, on obtient une surface membranaire minimale nécessaire au traitement de 66 m^2 . Si on utilise des membranes similaires à celles utilisées dans notre étude, mais de 304 cm (10 pi.) de longueur, on obtient une aire membranaire unitaire de $0,2 \text{ m}^2$. En divisant la surface membranaire totale par la surface d'une membrane, on obtient nombre total de membranes nécessaires, et dans notre cas, on obtient 330 membranes. Une autre configuration de membranes, comme des petites membranes tubulaires d'environ 1 cm de diamètre en modules ($\sim 2 \text{ m}^2/\text{module}$), nous permettrait d'utiliser 33 modules, ce qui est probablement beaucoup moins énergivore, en plus de prendre beaucoup moins d'espace.

CHAPITRE 5

CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

5.1 Rappel des objectifs

L'objectif principal du projet était de développer un procédé membranaire permettant le traitement de lisier de porc de relativement petites fermes ($< 20 \text{ m}^3/\text{d}$) sans l'intervention d'une filière biologique. Ce traitement devait permettre une hygiénisation de l'effluent, ainsi qu'une réduction des concentrations en phosphore soluble afin d'atteindre les exigences de rejet de 1 mg P/L .

À ce premier objectif, deux sous-objectifs sont venus se greffer : 1- déterminer la capacité d'un système de filtration modifiée (l'EUF) à améliorer les performances membranaires, ainsi qu'à coaguler le phosphore soluble et 2- déterminer les performances atteignables au niveau amélioration des performances membranaires et de réduction des concentrations en phosphore total sur le couplage de l'UF avec un procédé d'électro-coagulation. Un dernier objectif annexe visait à caractériser les performances des membranes au point de vue économique à l'aide du modèle de Belhocine *et al.* (1998).

5.2 Conclusions

5.2.1. Conclusion générale

L'ultrafiltration seule ne permettant pas d'abattre significativement les concentrations en phosphore soluble, un procédé d'électro-ultrafiltration a été mis en place. Ce dernier a montré que les surfaces d'électrode et les courants employés lors des essais ne permettaient pas de faire diminuer rapidement les concentrations en phosphore soluble, et qu'un procédé d'électro-coagulation devrait être effectué dans un réacteur séparé, dans des conditions optimales avec un générateur fournissant un ampérage plus élevé. L'EUF n'a pas non plus montré qu'elle permettait de promouvoir la turbulence et d'augmenter les flux membranaires, ni par la production de micro-bulles, ni par l'augmentation des vitesses linéaires dans la membrane. Par contre, un couplage entre un procédé d'électro-

coagulation et d'ultrafiltration a été testé et il a été montré qu'il permettait d'abattre les concentrations en phosphore total et d'atteindre les exigences de rejet de 1 mg P/L. Ce dernier procédé, entièrement physico-chimique pourrait être utilisé dans des petites installations traitant les eaux usées si l'hygiénisation et la réduction des concentrations de phosphore étaient les objectifs prioritaires de traitement.

5.2.2. Électro-ultrafiltration

L'opération de l'EUF 1, conçue afin d'obstruer environ 60 % de la section d'écoulement par une anode en acier solubilisable et une cathode en inox, a d'abord fourni des informations sur le fait que les surfaces d'électrodes, ainsi que les courants employés étaient trop faibles pour permettre d'atteindre les objectifs de réduction des concentrations en phosphore soluble. Les concentrations en phosphore soluble peuvent être réduites, mais seulement après plusieurs heures de traitement, ce qui est inadéquat dans ce cas étant donné les coûts de pompage impliqués. De plus, le faible espacement entre les deux électrodes a mené à une accumulation de particules, puis à un colmatage. Ce colmatage a fait en sorte qu'environ 90 % de la section d'écoulement était obstruée par l'électrode ; cette proportion de 90 % est considérée comme optimale dans l'étude de Yeh *et al.* (2001) pour augmenter les flux membranaires dans un montage similaire. Il a toutefois été noté dans cette expérience qu'il y avait une stagnation des performances membranaires en plus d'une augmentation notable des coûts d'exploitation (selon le modèle de Belhocine *et al.*, 1998) reliés à la perte de charge dans le système. On note finalement que l'absence de nettoyage mécanique de la surface de la membrane mène rapidement à une diminution des flux solvant, diminution qui ne pourra être restaurée qu'en partie lors de lavages après le démontage de l'EUF. Cette diminution est principalement attribuée à la formation de biofilm, ainsi qu'au dépôt de particules et solutés à l'intérieur des pores de la membrane.

Le deuxième montage d'électro-ultrafiltration (EUF 2), n'obstruant qu'environ 30 % de la section d'écoulement par les électrodes en acier inoxydable, visait principalement la promotion de turbulence par la production de micro-bulles de gaz et à l'augmentation des vitesses linéaires dans la membrane. Il a été noté, lors d'essais en effluent réel et

synthétique, que le volume de gaz produit représentait environ 0,5 % du volume total de liquide circulant dans les conduites. Cette proportion semble assez faible, et il est possible de croire que ce faible volume de gaz se maintiendra dans le centre du canal d'écoulement où les vitesses linéaires sont plus importantes. Le gaz, restant éloigné de l'interface membranaire, ne pourra servir à réduire l'accumulation du gâteau de filtration ou de la couche de polarisation. L'opération de l'EUF 2 n'a pas permis de noter une augmentation significative des flux membranaires. Par contre, une diminution des flux solvant a été notée à cause de l'absence de lavage mécanique.

Un système d'EUF pouvant présenter des coûts de production et d'installation importants, une faible augmentation des performances du procédé membranaire et pouvant réduire significativement la longévité de la membrane dans les conditions utilisées ne semble pas viable.

5.2.3. Ultrafiltration

L'ultrafiltration comme procédé de traitement du lisier de porc a permis d'atteindre certains objectifs : l'hygiénisation et l'enlèvement des matières en suspension. Toutefois, l'objectif central du projet étant la réduction des concentrations de phosphore soluble, n'a pas pu être atteint, peu importe les conditions opératoires utilisées. Les flux membranaires obtenus lors de l'UF des différents types de lisiers sont relativement faibles ($10 - 20 \text{ Lm}^{-2}\text{h}^{-1}$) comparativement à ceux retrouvés dans la littérature, mais se situent tout de même dans la gamme inférieure. La charge en matières en suspension des lisiers à traiter étant très importante, les facteurs de concentration volumique supérieurs à 3 sont très difficiles à atteindre. Le gâteau de filtration a été désigné comme étant le principal obstacle à l'obtention de bonnes performances membranaires, et il pourrait être réduit avec un procédé comme le lavage par impulsions à contre-courant périodique. Un système de promotion de turbulence ne visant qu'à modifier l'écoulement hydrodynamique ne semble pas suffisant pour le traitement du lisier de porc.

5.2.4. Couplages UF-ÉE

Le couplage UF-ÉE ou ÉE-UF a été envisagé lorsque l'incapacité de l'EUF à coaguler rapidement et efficacement le phosphore soluble a été constatée. Contrairement à ce qui était prédit, l'ÉE en amont de l'UF ne permet pas de réduire les concentrations de matières en suspension, bien au contraire ; il a été noté que dans certains essais, les concentrations de MES étaient plus grandes à la fin de l'essai d'ÉE qu'au début. Cette augmentation est principalement due aux floccs d'hydroxydes de fer. De plus, lors des essais de couplage ÉE-UF, il a été noté que l'ÉE permettait de réduire les concentrations de phosphore soluble sous la barre de 1 mg P/L, mais que lorsqu'il y avait post-traitement par UF, on notait une solubilisation environ 4 mg P/L dans le perméat, cette concentration se maintient dans le temps. L'ÉE présentait de plus des phénomènes sévères d'encrassement des électrodes, réduisant de façon importante les transferts de masse. Il a été statué que le couplage dans cette séquence présentait plusieurs désavantages et ne devrait pas être utilisé.

La séquence UF-ÉE, par contre, permet d'enlever pratiquement toutes les matières en suspension lors de l'UF pour le procédé d'ÉE, qui fonctionne alors de façon beaucoup plus efficace, ce qui permet également d'éviter l'encrassement des électrodes. Les deux procédés dans cet ordre permettent également d'obtenir un résiduel en phosphore soluble inférieur à 1 mg P/L puisque le lisier n'est pas soumis à d'aussi grandes forces de cisaillement, qui ont été considérées responsables du bris des floccs d'hydroxydes de fer, et de la solubilisation du phosphore soluble. Il a été de plus observé que les floccs d'hydroxydes de fer formés en absence de matières en suspension dans le liquide à traiter décantent bien et peuvent alors aisément être séparés de la solution.

En résumé, le couplage des procédés d'ÉE et d'UF permet d'hygiéniser l'effluent, tout en réduisant les concentrations de phosphore soluble à moins de 1 mg P/L ou 4 mg P/L, dépendamment de la séquence employée. Ces deux procédés ont toutefois des limites : le couplage ne permet pas, de réduire les concentrations de DBO₅ et DCO soluble, azote ammoniacal, potassium. Même si certains composés comme le chlore sont produits

en ÉÉ, la charge en matière organique est tellement grande qu'elles oxyderont cette matière organique dans la zone directement en contact avec les électrodes et seront neutralisées rapidement. Il est estimé que l'utilisation de deux procédés complémentaires, un visant les MES et hygiénisation, l'autre le phosphore soluble, permette le traitement du lisier de porc sans procédé biologique et de quand même respecter les exigences en matières de pathogènes et de concentration en phosphore total. Toutefois, si des exigences strictes sont fixées pour la DBO et l'azote ammoniacal, un procédé de volatilisation de l'azote ammoniacal, ainsi qu'un procédé d'oxydation avancé comme l'ozonation devraient être ajoutés à l'UF et l'ÉÉ.

5.2.5. Analyse économique

Tout au long de cette étude, il a été tenté d'intégrer l'analyse économique à l'analyse technique. Ceci a permis d'utiliser le modèle de Belhocine *et al.* (1998) pour optimiser les paramètres d'opération de l'UF. Des coûts d'opération typiques pour les différents types de lisiers ont été déterminés. Il a été noté que l'effluent du Filtramat était le type de lisier le plus difficile à traiter avec un coût oscillant entre 2,4 et 8,0 \$US/m³, avec un facteur de concentration volumique assez faible de 1,7. Le lisier tamisé, était plus aisé à traiter que le surnageant de fosse : le tamisé atteignait des coûts entre 1,2 et 3,5 \$US/m³ pour un FCV de 3,3, alors que le surnageant de fosse obtenait des coûts entre 2,0 et 4,0 \$US/m³ pour un FCV d'environ 2,3. La composition du lisier, la granulométrie, ainsi que les concentrations en MES expliqueraient ces résultats. Le FLR, comme prévu, atteint les coûts de traitement les plus faibles : entre 0,5 et 1,5 \$US/m³ pour un facteur de concentration volumique d'environ 6,6.

Cependant, l'optimisation qui a été effectuée à concentration constante sur les différents lisiers, n'est peut-être pas valide lorsque les concentrations augmentent, faussant alors l'analyse économique en fonction du facteur de concentration volumique.

5.3 Recommandations

- UF

Le module d'UF ne possédant qu'une seule pompe est moins flexible au point de vue des vitesses et pressions qu'il peut atteindre, étant donné que la pression est créée par étranglement. Ceci contraint l'utilisation de faibles vitesses et de faibles pressions ou de grandes vitesses et de grandes pressions. Il est suggéré d'installer une pompe de recirculation de grand débit, en plus d'une pompe de faible débit servant à créer la pression.

Le choix de l'utilisation de membranes de 2,54 cm de diamètre ayant été principalement dirigé par la possibilité de développement de l'EUF, il est estimé que cette configuration n'est plus nécessaire. Il a également été établi que des membranes tubulaires plus compactes, d'un diamètre approximatif de 1 cm, avec le même seuil de coupure, organisées en modules de plusieurs unités, seraient beaucoup plus avantageuses autant au point de vue coût qu'espace et dimension de pompe (notamment à cause des « U » de raccord entre les différentes membranes tubulaires).

- EUF

Comme mentionné précédemment, il a été statué que l'insertion d'objets dans la section d'écoulement n'a pas eu un effet bénéfique sur les flux membranaires. Toutefois, certains moyens de réduction du gâteau de filtration pourraient fonctionner. La technologie qui semble la plus prometteuse et la plus facile à utiliser à grande échelle est un lavage périodique à contre-courant par impulsions.

- Couplages

Il serait intéressant d'approfondir l'étude des mécanismes d'enlèvement du phosphore (adsorption/précipitation), et les espèces présentes dans l'effluent de l'ÉE pourraient être caractérisées. La forme sous laquelle sera complexée le phosphore pourrait renseigner sur les mécanismes de son enlèvement. Une caractérisation granulométrique

avant et après l'ÉE pourrait être intéressante afin de déterminer si les caractéristiques du lisier sont modifiées par ce procédé.

- Analyse économique

Un élément essentiel à déterminer afin de réaliser une bonne étude économique est la détermination des paramètres d'opération optimaux en fonction de la concentration du lisier. Il est estimé que s'il y avait effectivement une variation dans ces paramètres optimaux, une adaptation en continu des conditions de filtration pourrait être effectuée (dans le cas d'un système automatisé) et permettrait d'atteindre des coûts d'exploitation minimaux.

Dans la plupart des cas, il a été noté que le lisier vieilli était beaucoup plus aisé à traiter que le lisier frais par procédés membranaires et procédés électrochimiques. Le lisier frais a semblé plus visqueux, avec des flocs plus gros, qui semblaient décanter relativement bien alors que le lisier vieilli présentait des flocs minuscules qui ne décantaient pas. Cette très faible décantabilité des particules étant attribuée principalement aux charges dans le lisier, il serait intéressant d'étudier divers moyens de les déstabiliser.

RÉFÉRENCES

- Agricultural Research Service. *Page d'accueil*. [En ligne]. <http://www.ars.usda.gov/is/np/Phos&Eutro/phos&eutro.pdf> (page consultée le 10 mars 2002).
- Agriculture et agroalimentaire Canada. *Direction générale de la recherche*. [En ligne]. http://res2.agr.ca/initiatives/manurenet/download/man_lit_rev.pdf (page consultée le 10 mars 2002).
- ALBERT, M. (2002). Rapport interne d'avancement des travaux – mars 2002. Envirogain inc.
- ALBERT, M. (2001). Rapport interne d'avancement des travaux – avril 2001. Envirogain inc.
- ALLEN, B. (1999). Essais à l'échelle pilote de traitements du lisier de porc à la Ferme porcine Saint-Roch. Rapport technique de SOPRIN ADS. 308p.
- BELHOCINE D., GRIB, H. ABDESSMED, D., COMEAU, Y., MAMERI, N. (1998). Optimization of plasma proteins concentration by ultrafiltration. Journal of Membrane Science. 142, 159-171.
- BOUCHARD, C. Ultrafiltration d'huile de coupe usagée. (1982) Mémoire de maîtrise.
- BOURGEOUS, K.N. DARBY, J.L. TCHOBANOGLIOUS, J. (2000). Ultrafiltration of wastewater: effects of particles, mode of operation and backwash effectiveness. Water Research. Vol. 35, no 1, pp 77-90.
- BRUGGER, A., VOSSENKAUL, K., MELIN, T., RAUTENBACH, R. (2000). Reuse of filter backwash water using ultrafiltration technology. Filtration and Separation. Jan/Feb. pp. 22-26
- BRUN, J.-P. (1989). Procédés de séparation par membranes. Masson, Paris. 270 p.

BUELNA, G., DUBÉ, R., MICHEL, M.C., TURGEON, N., BERNARD, Y., LESSARD, P. (1998). Comprehensive pig manure treatment using the BIOSORTM biofiltration process. Procc. 8th Internat. Conf. – RAMIRAN 98, Rennes, France, 26 – 29 mai 1998. p 389 - 404.

CEMAGREF. *Site d'information du CEMAGREF*. [En ligne]. <http://sinfotech.cemagref.fr/domaine/esp-rural/data/pages/f42.htm> (page consultée le 28 février 2002)

Centre de développement du porc du Québec. *Bienvenue au CDPQ*. [En ligne]. <http://www.cdpqinc.qc.ca/coupoeil99/coupoeil99.pdf> (page consultée le 10 mars 2002)

FOOT, R.J. CHURCHHOUSE, S.J. (2000). Economic aspects of membrane ultrafiltration : an analysis of performance. Water supply. 18, no 1 pp 405-409.

FU L. F., DEMPSEY, B.A. (1998). Modeling the effect of particle size and charge on the structure of the filter cake in ultrafiltration. Journal of Membrane Science. 149, 221-240.

GARZON, M. Mécanismes d'enlèvement de l'azote du lisier de porc par biofiltration aérée sur tourbe. (2001). Thèse de doctorat.

GHASSEMI, M. RECHT, H.L. (1971). Phosphate precipitation with ferrous iron. Environmental protection agency. 64 p.

GRIB, H. (2000). Amino acid retention with alumina γ nanofiltration membrane. Journal of Membrane Science. 4467, 1-9.

JAFFRIN, M.Y., CHARRIER, J.Ph. (1994). Optimization of ultrafiltration and diafiltration processes for albumin production. Journal of Membrane Science. 97, 71-81.

LIU C., XINGYAN, W. (1998). Optimization of operation parameters in ultrafiltration process. Journal of Biotechnology. 66, 195-202.

MAMERI, N. ADESSEMED, D. BELHOCINE, D. LOUNICI, H. (1996) Treatment of fishery washing water by ultrafiltration. Journal of chemical and technical biotechnology. 67, 169-175.

Ministère de l'environnement de l'Ontario. *Agro-Environmental programs*. [En ligne]. http://res2.agr.ca/london/env_prog/gp/gpres/download/repl_1.pdf (page consultée le 28 février 2002)

MORINEAU-THOMAS O., LEGENTILHOMME, P. JAOUEN. (2001). Improvement of the performance of the ultrafiltration of bentonite suspensions using a swirling decaying annular flow : comparison with tangential plane and axial annular flows. *Journal of Membrane Science*. 193, 19-33.

MORSE, G.K., BRETT, S.W., GUY, J.A., LESTER, J.N. (1998) *Review: Phosphorus removal and recovery technologies*. *The Science and the Total Environment*. 212, 69-81.

OSMONICS. *Osmonics filtration spectrum*. [En ligne]. <http://www.osmonics.com/library/spec2.pdf>. (page consultée le 12 avril 2002).

OUSSEDIK, S., BELHOCINE, D., GRIB, H., LOUNICI, H., PIRON, D.L., MAMERI, N. (2000). Enhanced ultrafiltration of bovine serum albumin with pulsed electric field and fluidized activated alumina. *Desalination*, 127, 59-68.

PETERS, T.A., GUNTHER, R., VOSSENKAUL, K. (2000). Membrane bioreactors in wastewater treatment. *Filtration + Separation*. Jan/Feb, 18-21.

PLURITEC ASSAINISSEMENT LTÉE. Étude sur le traitement de polissage par osmose inverse de l'effluent de la station pilote de Saint-Elzéar pour le traitement du lisier de porc : rapport final. 1990. Québec : ministère de l'Environnement et de la Faune, 1994. 140p. 18 annexes.

RODRIGUEZ-ESTRADA M.T., CHUNG, S. CHINACHOTI P. (1994). Solids extraction of cod frame and effects on ultrafiltration of the aqueous extract. *Journal of food science*. vol 59, #4, 799-803.

SHARMA, D.K., Reuter, H. (1993) Quarg-making by ultrafiltration using polymeric and mineral membrane modules: a comparative performance study. *Lait*, volume 73, pp303-310.

SIMON, A., GONDREXON, N., TAHA, S. CABON, J. DORANGE, G. (2000). Low-Frequency Ultrasound to Improve Dead-End Ultrafiltration Performance. Separation Science and Technology, 35(16), pp. 2619-2637.

SONG L. (1998). Flux decline in crossflow microfiltration and ultrafiltration: mechanism and modeling of membrane fouling. Journal of membrane science, 139, 183-200.

Surface d'une membrane d'UF : <http://www.pall.com/catalogs/filterbook/filtron/#1>

Syndicat Intercommunal d'Aménagement et d'Entretien de la Reyssouze. *Page d'accueil*. [En ligne]. <http://www.syndic-rivieres.org/dysf7.HTM> (page consultée le 12 mars 2002)

WIESNER, M.R., SHANKARARAMAN, C. (1999). The Promise of Membrane Technology: An expanded understanding of membrane technology is fostering new environmental applications. Environmental science and technology, vol 33, Issue 17, 360-366.

YEH, H.M. (2000). Membrane ultrafiltration in a tubular module with a steel rod inserted concentrically for improved performance. Journal of Membrane Science. 168, 121-133.

YEH, H.M. (2000). Improvement of ultrafiltration performance in tubular membranes using a twisted wire-rod assembly. Journal of Membrane Science. 178, pp 43-53.

ZEMAN, L.J., ZYDNEY, A.L. (1996) Microfiltration and Ultrafiltration. Marcel Dekker, New York. 618p.

ANNEXE I

Cette section présentera dans l'ordre chronologique les paramètres d'opération, les observations faites au moment des essais, ainsi que les flux membranaires mesurés.

Jours depuis temps 0	MTOT *				Qw		Jv		Effluent Moyl	DP kPa	QV (l/min)	U Moy m/s	Temps de []	Type d'essai	(UJF / EUF / Couplage)	Effluent	MTOT Max	FCV (%)	K/Qw	
	S. Fosse		L. Tamisé		Solvant	Effluent	Solvant	Effluent											Min	Max
	Ctr	Perm.	Ctr	Perm.	ml/min	ml/min	ml/min	ml/min												
141	-	-	-	-	300	300	180	180	180	210,00	N/D	N/D		o-pc4 vs EUF	E	H2O	-	-	/	
142	-	-	-	-	350	200	210	120	120	160,00	N/D	N/D		o-pc4 vs EUF	E	H2O	-	-	/	
145	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/D	-		o-pc4 vs EUF	E	H2O	-	-	/	
146	-	-	-	-	400	35-48	240	21-28,8	24	160,00	N/D	N/D	8h00	Concentration (FCV)	E	S.F.0900	-	-	/	
162	-	-	-	-	350	300-400	210	180-240	210	165,00	N/D	N/D		o-pc4 vs EUF	E	H2O	-	-	/	
170	-	-	-	-	310	25-30	186	15-18	17	190,00	N/D	N/D	9h30	Concentration (FCV)	E	L.T.0901	-	~40	/	
177	-	-	-	-	130	18-22	78	10,8-13,2	11,5	210,00	N/D	N/D	5h45	Concentration (FCV)	C (ÉÉ-UJF)	L.T.0901	-	~30	/	
414	Chargé membrane UF - enlevé EUFv1															-	-	-	-	-
416	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/D	N/D		-	E	H2O	-	-	-	
422	-	-	-	-	1140	660-860	684	396-516	450	Var.	18-68	0,88-3,34		Calibration EUF	E	H2O	-	-	0,07 0,19	
423	-	-	-	-	960	560-980	576	336-588	463	Var.	-	-		Calibration EUF	E	H2O	-	-	-	
424	-	-	-	-	550	36-86	330	21,6-51,6	36,65	Var.	16-65	0,78-3,19		K/Qw	E	FLR - 23aou	-	0,94 2,42	-	
428	-	-	-	-	160	66-88	96	39,6-52,8	46,25	50	55	2,70	1h00	Concentration (couplage)	C (ÉÉ-UJF)	L.T.0210 ÉÉ	-	1,15 2,64	-	
437	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	E	-	-	-	-	
450	-	-	-	-	320	34-44	192	20,4-26,4	23	Var.	36	1,77		Tests de réversibilité d	E	L.T.14-12	-	1,65 2,70	-	
451	-	-	-	-	150	34-42	90	20,4-25,2	22,5	Var.	37	1,82		Tests de réversibilité d	E	L.T.14-12	-	1,78 2,41	-	
471	-	-	-	-	13968	5280	240	13,2-36	25	Var.	17-60	0,83-2,94		K/Qw	E	L.T.14-12	-	1,93 3,08	-	
472	-	-	-	-	12792	4657	240	12-36	24,5	Var.	7-36	0,34-1,77		K/Qw	E	L.T.14-12	-	1,64 2,92	-	
473	-	-	-	-	11020	5793	120	13,2-24	19,1	100,00	33,00	1,62	12h00	Concentration (FCV)	E	L.T.14-12	N/D	61,7 3,38 6,11	-	
474	11388	7854	-	-	110	20-52	66	12-31,2	21,5	Var.	17-59	0,84-2,90		K/Qw	E	S.F.14-12	-	2,05 3,8	-	
477	13848	8900	-	-	300	20-54	180	12-32,4	22,3	Var.	13-40	0,64-1,94		K/Qw	E	S.F.14-12	-	1,54 3,39	-	
478	12384	8417	-	-	200	20-44	120	12-26,4	19,3	50,00	33,00	1,62	10h00	Concentration (FCV)	E	S.F.14-12	N/D	62 3,07 7,24	-	
481	12904	8674	-	-	260	20-48	156	12-28,8	20,5	50,00	51,00	2,51	22h30	Concentration (FCV)	E	S.F.14-12	75,6 1,76 5	-	-	
485	-	-	11228	5471	120	30-50	72	18-30	24,5	100,00	52,00	2,56	10h00	Concentration (FCV)	E	S.F.14-12	60 1,73 3,83	-	-	
486	-	-	-	-	38	<<<<<< !!!	-	-	-	-	-	-		-	E	-	-	-	-	
488	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	E	-	-	-	-	

27sept00	-	-	-	400	400-850	240	240-510	375.5	Var.	N/D	N/D	N/D	Jv en fct de DP	U	H2O	
28sept00	-	-	-	430	430	258	258	259	Var.	N/D	N/D	N/D	Enlèvement o-pot vs D	U	H2O	
10oct00	-	-	-	-	26-40	-	15.6-24	20	235.00	N/D	N/D	N/D	Concentration (FCV)	U	S.F.0900	?
13oct00	-	-	-	-	53-74	-	31.8-44.4	38.15	175.00	N/D	N/D	N/D	Concentration (FCV)	U	S.F.0900	?
8nov00	-	-	-	450	21-43	270	12.6-25.6	19.3	185.00	N/D	N/D	N/D	Concentration (FCV)	U	S.F.0900	50
16nov00	-	-	-	530	29-51	318	17.4-30.6	24	200.00	N/D	N/D	N/D	Concentration (FCV)	U	S.F.0900	59
30nov00	-	-	-	-	670 14-35	402	8.4-21	15.2	180.00	N/D	N/D	N/D	Concentration (FCV)	U	S.F.0900	50
15jan01	-	-	-	300	300	180	180	180	Var.	N/D	N/D	N/D	Performance - eau rob	U	H2O	
16jan01	-	-	-	560	560	336	336	336	Var.	N/D	N/D	N/D	Performance - eau rob	U	H2O	
27mar01	-	-	-	700	34-45	420	20.4-27	24	180.00	N/D	N/D	N/D	Concentration (FCV)	U	FLR0901	63
23av01	-	-	-	1220	480-127	732	288-732	510	140.00	N/D	N/D	N/D	Calibration UF	U	H2O	
209	-	-	-	1000	590-100	800	336-900	486.5	185.00	N/D	N/D	N/D	Calibration UF (ret. D)	U	H2O	
27av01	-	-	-	1000	240-860	800	144-516	330	195.00	N/D	N/D	N/D	Calibration UF	U	H2O	88
1mai01	-	-	-	1500	1100-15	900	660-900	780	195.00	N/D	N/D	N/D	Calibration UF	U	H2O	
14jun01	-	-	-	810	380-780	486	228-456	342	115.00	24.00	1.18	1.18	Calibration UF	U	H2O	0.07 0.14
15jun01	-	-	-	800	10-25	480	6-15	11	50.00	16.87	0.78-3.29	0.78	K/Qw	U	L.T.0901	2.92 5.68
18jun01	-	-	-	1140	11-39	884	6.6-23.4	15	Var.	18-72	0.88-3.53	0.88	K/Qw	U	L.T.0901	2.26 5.11
27jun01	-	-	-	1140	11-85	884	6.6-39	23.3	Var.	20-90	0.98-4.24	0.98	K/Qw	U	L.T.0901	1.72 5.24
29jun01	-	-	-	1200	12-80	720	7.2-36	22.1	Var.	17-59	0.83-4.86	0.83	K/Qw	U	L.T.0901	2.23 4.8
3juil01	-	-	-	1100	32-112	860	19.2-67.2	43.25	Var.	14-80	0.68-3.93	0.68	K/Qw	U	FLR0901	0.72 2.04
5juil01	-	-	-	1080	38-136	648	22.8-81.6	52.2	Var.	17-85	0.84-4.17	0.84	K/Qw	U	FLR0901	0.64 1.65
6juil01	-	-	-	1120	34-126	672	20.4-75.6	48.05	Var.	15-83	0.74-4.08	0.74	K/Qw	U	FLR0901	0.70 2.08
10juil01	-	-	-	1160	74-110	866	44-4-66	55.7	Var.	72	3.54	3.54	Concentration (FCV)	U	FLR0901	91 1.04 1.35
11juil01	-	-	-	1140	390-800	884	234-480	357.5	Var.	23-59	1.13-2.90	1.13	Performance (var Qw)	U	H2O	0.08 0.15
12juil01	-	-	-	1100	70-114	860	42-68.4	55.3	155	64	3.15	3.15	Concentration (FCV)	U	FLR0901	80 0.75 1.38
VACANCES																
1aoû01	-	-	-	1200	48-68	720	8.8-40.85	34.8	100.00	83	4.08	4.08	Concentration (FCV)	U	L.T.0901	1.66 2.58
3aoû01	-	-	-	1480	340-12	876	204-744	474.5	100	62	3.05	3.05	Performance (var Qw)	U	H2O	0.06 0.23
6aoû01	-	-	-	1340	50	804	30	31	120	N/D	N/D	N/D	Coliformes	U	FLR0901	-
22aoû01	-	-	-	1000	65-112	600	39-67.2	53.15	200	55	2.70	2.70	Concentration (FCV)	U	FLR0901	87 0.7 1.16
26aoû01	-	-	-	1360	54-70	816	32-4-42	37.7	210	54	2.85	2.85	Concentration (FCV)	U	FLR0901	77 0.99 1.5
24aoû01	-	-	-	1400	22-130	840	13.2-78	46.1	Var.	13-70	0.64-3.44	0.64	K/Qw	U	FLR0901	-
Bris impeller																
12sept01	-	-	-	1800	32-90	1080	19.2-54	37.1	Var.	18-80	0.88-3.93	0.88	K/Qw	U	FLR2301	0.57 3.95
13sept01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/D	N/D	N/D	Prod gaz	-	H2O	-
14sept01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/D	N/D	N/D	Prod gaz	-	H2O	-
17sept01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/D	N/D	N/D	Prod. gaz ds FLR	-	FLR2301	-
18sept01	-	-	-	1140	16-66	864	9.6-40.8	25.25	Var	20-82	0.98-4.03	0.98	K/Qw	U	L.T.0901	1.30 3.67
19sept01	-	-	-	1480	18-70	876	10.8-42	26.9	Var.	18-66	0.88-4.23	0.88	K/Qw	U	L.T.0901	1.44 3.66
21sept01	-	-	-	1440	32-120	864	19.2-72	46.1	Var.	15-81	0.74-3.98	0.74	K/Qw	U	FLR2301	0.67 1.78
1oct01	-	-	-	1280	18-68	768	10.8-40.8	25.85	Var	16-81	0.78-3.98	0.78	K/Qw	U	L.T.0903	1.23 3.07
4oct01	-	-	-	1400	16-70	840	9.6-42	26.3	Var	17-63	0.84-4.08	0.84	K/Qw	U	L.T.0210	1.29 3.62
5oct01	-	-	-	1700	18-74	1020	10.8-44.4	27.85	Var.	18-85	0.88-4.17	0.88	K/Qw	U	L.T.0210	1.40 3.13

Essai					Calibration				
Date: 27 sept. '00					T (°C)				
UF - Jv en fct de ΔP					Qv (LPM)				
UF d'eau du robinet					P1/P2 (kPa)				
T°=25C pour les essais.					Moteur				
NOTE: UF					Qw (ml/min)				
P1	P2	DP	Qw	Jv					
120	80	100	400	240					
190	180	185	400	240					
220	200	210	600	360					
290	250	270	620	372					
350	300	325	700	420					
450	400	425	850	510					

Essai

Date: 29 sept. '00

Effluent **A**UF - Enlèvement d'o-po4 dans l'eau du robinet
en fonction de la pression

UF d'eau du robinet

Q = Inconnu

Calibration

T (°C)

Qv (LPM)

P1/P2 (kPa)

Moteur

Qw (ml/min)

NOTE: Source de phosphore: KH₂PO₄

Apparition de petits flocs dans la solution, même si sol. faible [] (1g/L)

Éch	P1 (Pa)	P2 (Pa)	ΔP (Pa)	T° (°C)	Qperm (mL/min)	Jv (L m ⁻² h ⁻¹)
P1	110	20	65	24	262	157,2
P2	190	120	155	25	440	264
P3	280	220	250	25,8	590	354
P4	400	360	380	26,4	735	441
P5	490	470	480	27,5	810	486

Essai

Date: 10 oct. '00

Effluent **B**

UF - concentration de surnageant de fosse

FCV

Pression/vitesse constante

Q = Inconnu

Calibration

T (°C)

Qv (LPM)

P1/P2 (kPa)

Moteur

Qw (ml/min)

NOTE: Manips durent environ 15min. Mesures prises

sur 2 min car débits trop faibles. Pas de débitmètre installé

Temps (min)	pH	T° °C	Moteur	Q (L/min)	Q2 (L/min)	Qmoy (L/min)	Q (m³/s)	U (m/s)	P1 (Pa)	P2 (Pa)	ΔP (Pa)	ΔPf (Pa)	Qperm (mL/min)	Qperm (m³/s)	Jv L m⁻² h⁻¹
0	-	30,7	40	-	-	-	-	-	240000	230000	235000	10000	40	6,67E-07	24
45	-	33,1	40	-	-	-	-	-	240000	230000	235000	10000	35	5,83E-07	21
74	-	33,3	40	-	-	-	-	-	240000	230000	235000	10000	33	5,50E-07	19,8
134	-	33,5	40	-	-	-	-	-	240000	230000	235000	10000	26	4,33E-07	15,6
170	-	32,5	40	-	-	-	-	-	240000	230000	235000	10000	29	4,83E-07	17,4

Essai

Date: 13 oct. '00
Effluent B
UF - concentration de surageant de fosse
FCV
Pression/vitesse constante
Q = Inconnu

Calibration

T (°C)	-
Qv (LPM)	-
P1/P2 (kPa)	-
Moteur	-
Qw (ml/min)	-

NOTE: UF

Temps	pH	T°	Moteur	Qmoy (L/min)	Q (m³/s)	U (m/s)	P1 (Pa)	P2 (Pa)	ΔP (Pa)	ΔPf (Pa)	Qperm (mL/min)	Jv (L m⁻² h⁻¹)
0	-	19,3	40	-	-	-	190000	150000	170000	40000	74	44,4
42	-	19,5	40	-	-	-	190000	150000	170000	40000	74	44,4
72	-	19,5	40	-	-	-	190000	150000	170000	40000	64	38,4
83	-	19,8	40	-	-	-	190000	150000	170000	40000	44	26,4
114	-	19,7	40	-	-	-	190000	150000	170000	40000	44	26,4
150	-	18,9	40	-	-	-	190000	150000	170000	40000	44	26,4
182	-	18,7	40	-	-	-	190000	150000	170000	40000	52	31,2
277	-	18,9	40	-	-	-	190000	150000	170000	40000	53	31,8
305	-	19	40	-	-	-	190000	150000	170000	40000	53	31,8
365	-	19	40	-	-	-	190000	150000	170000	40000	53	31,8
425	-	18,8	40	-	-	-	190000	150000	170000	40000	53	31,8
485	-	18,8	40	-	-	-	190000	150000	170000	40000	53	31,8

Essai

Date: 8 nov. '00
Effluent B
UF de surnageant de fosse
FCV
Pression/vitesse constante
Vol init ~ 40 L, réduction de vol ~ 50%
Q = Inconnu

Calibration

T (°C)	25
Qv (LPM)	-
P1/P2 (kPa)	190/160
Moteur	40
Qw (ml/min)	450

NOTE: Échantillons de Ptot cristallisés

Temps (min)	pH	T° °C	Moteur	Qmoy (L/min)	Q (m³/s)	U (m/s)	P1 (Pa)	P2 (Pa)	ΔP (Pa)	ΔPf (Pa)	Qperm (mL/min)	Qperm (m³/s)	Jv (L m⁻² h⁻¹)	Vol. Acc. Sur 40L total
0	-	21,7	40	-	-	-	190000	160000	175000	30000	43	7,17E-07	25,8	
60	-	22,2	40	-	-	-	190000	160000	175000	30000	42	7,00E-07	25,2	
300	-	22,6	40	-	-	-	190000	160000	175000	30000	31	5,17E-07	18,6	
360	-	22,9	40	-	-	-	190000	160000	175000	30000	28	4,67E-07	16,8	
420	-	23,1	40	-	-	-	190000	160000	175000	30000	27	4,50E-07	16,2	
480	-	23,1	40	-	-	-	190000	160000	175000	30000	21	3,50E-07	12,6	
540	-	21,8	40	-	-	-	190000	160000	175000	30000	24	4,00E-07	14,4	
600	-	21,7	40	-	-	-	190000	160000	175000	30000	22	3,67E-07	13,2	20,0

Essai

Date: 16 nov. '00
Effluent **B**
UF de surageant de fosse
FCV
Pression/vitesse constante
Vol init ~ 40 L, réduction de vol ~ 50%
Q = Inconnu

Calibration

T (°C)	25
Qv (LPM)	-
P1/P2 (kPa)	190/160
Moteur	40
Qw (ml/min)	450

NOTE: Échantillons de Ptot cristallisés

Temps	pH	T°	Moteur	Qmoy	Q	U	P1	P2	ΔP	ΔPf	Qperm	Qperm	Jv	Vol. Accumulé
				(L/min)	(m ³ /s)	(m/s)	(Pa)	(Pa)	(Pa)	(Pa)	(mL/min)	(m ³ /s)	(L m ⁻² h ⁻¹)	Sur 36L total
0	7,91	12,9	40	-	-	-	200000	150000	175000	50000	43	7,17E-07	25,8	
45	8,1	19	40	-	-	-	210000	180000	195000	30000	51	8,50E-07	30,6	
120	8,28	21,9	40	-	-	-	210000	180000	195000	30000	51	8,50E-07	30,6	
180	8,35	20,1	40	-	-	-	210000	180000	195000	30000	43	7,17E-07	25,8	
360	8,59	20,6	40	-	-	-	210000	180000	195000	30000	36	6,00E-07	21,6	
420	8,64	18,4	40	-	-	-	210000	180000	195000	30000	35	5,83E-07	21	
480	8,67	18,9	40	-	-	-	210000	180000	195000	30000	34	5,67E-07	20,4	
540	8,7	19,2	40	-	-	-	210000	180000	195000	30000	32	5,33E-07	19,2	
600	8,71	18,3	40	-	-	-	210000	180000	195000	30000	29	4,83E-07	17,4	21,0

Essai

Date: 30 nov. '00
 Effluent **B**
 UF de surnageant de fosse
 FCV
 Pression/vitesse constante
 Vol init ~ 40 L, réduction de vol ~ 50%
 Q = Inconnu

Calibration

T (°C) 10,2
 Qv (LPM) -
 P1/P2 (kPa) 200/150
 Moteur 40
 Qw (ml/min) 670

NOTE: Détermination du FCV, surnageant de fosse. Pas de courant

Temps	pH	T°	Moteur	Qmoy	Q	U	P1	P2	ΔP	ΔPf	Qperm	Qperm	Jv	Vol. Accumulé
(h)		(°C)		(L/min)	(m³/s)	(m/s)	(Pa)	(Pa)	(Pa)	(Pa)	(mL/min)	(m³/s)	(L m⁻² h⁻¹)	36L total
0	8,28	19	40	-	-	-	200000	160000	180000	40000	35	5,83E-07	21	
2	8,76	20,4	40	-	-	-	200000	160000	180000	40000	34	5,67E-07	20,4	
4	8,87	19,1	40	-	-	-	200000	160000	180000	40000	30	5,00E-07	18	
9	8,63	22	40	-	-	-	200000	160000	180000	40000	19	3,17E-07	11,4	
11	8,74	19,8	40	-	-	-	200000	160000	180000	40000	15	2,50E-07	9	
12	8,78	20	40	-	-	-	200000	160000	180000	40000	14	2,33E-07	8,4	24,0

Essai

Date: 16 jan. '01
Calibration en eau claire - démarrage
Q = Inconnu

NOTE: Manips durent environ 15min. Mesures prises sur 2 min car débits trop faibles

Pas de données disponibles

Calibration

T (°C)	35
Qv (LPM)	-
P1/P2 (kPa)	200/170
Moteur	40
Qw (ml/min)	1100

Essai

Date: 15 fév. '02
Effluent A
EUf - synthétique
Pas de courant électrique
seulement étudier rejet par
membrane d'o-po4

Calibration

T (°C)	21
Qv (LPM)	-
P1/P2 (kPa)	200/160
Moteur	40
Qw (ml/min)	300

NOTE: 150 mg/L-P ajoutés sous forme de K2HPO4

Formation de floes dans le bassin

Temps (min)	pH	T° (°C)	Moteur	Qmoy (L/min)	Q (m³/s)	U (m/s)	P1 (Pa)	P2 (Pa)	ΔP (Pa)	ΔPf (Pa)	Qperm (mL/min)	Qperm (m³/s)	Jv (L m⁻² h⁻¹)	Vol. Accumulé
0	8,05	21,9	40	-	-	-	280000	150000	215000	130000	140	2,33E-06	84	Vol inconnu
5	8,05	22	40	-	-	-	280000	150000	215000	130000	140	2,33E-06	84	
10	8,03	22	40	-	-	-	280000	150000	215000	130000	140	2,33E-06	84	
15	8,03	22,9	40	-	-	-	280000	150000	215000	130000	140	2,33E-06	84	

Essai

Date: 16 fév. '01

Effluent **A**

EUF - synthétique

Courant électrique = 3.25VDC, ~ 5A

Q = Inconnu

Calibration

T (°C) 22,2

Qv (LPM) -

P1/P2 (kPa) 190/120

Moteur 40

Qw (ml/min) 350

NOTE: 30 mg/L-P sous forme de K₂HPO₄

On prélève échantillons dans concentrat et perméat immédiatement

et on les fait décanter ~30min, puis on met surnaissant

dans les tubes tégator pour digestion

Temps (min)	pH	T° (°C)	Moteur	Qmoy (L/min)	Q (m ³ /s)	U (m/s)	P1 (Pa)	P2 (Pa)	ΔP (Pa)	ΔPf (Pa)	Qperm (mL/min)	Qperm (m ³ /s)	Jv (L m ⁻² h ⁻¹)	Vol. Accumulé
0	-	-	40	-	-	-	190000	120000	155000	70000	-	-	-	Vol inconnu
15	-	-	40	-	-	-	190000	120000	155000	70000	-	-	-	
17	-	-	40	-	-	-	190000	120000	155000	70000	-	-	-	
22	-	-	40	-	-	-	190000	120000	155000	70000	-	-	-	

Essai

Date: 19 fév. '01
 Effluent **A**
 EUF - synthétique
 Courant électrique = 3.3VDC, ~ 5A
 Q = Inconnu

Calibration

T (°C) -
 Qv (LPM) -
 P1/P2 (kPa) -
 Moteur -
 Qw (ml/min) -

NOTE: 30 mg/L-P sous forme de K₂HPO₄

On prélève échantillons dans concentrat et perméat immédiatement
 et on les fait décanter ~30min, puis on met surnageant
 dans les tubes técator pour digestion

Temps (min)	pH	T° (°C)	Moteur	Qmoy (L/min)	Q (m ³ /s)	U (m/s)	P1 (Pa)	P2 (Pa)	ΔP (Pa)	ΔP _f (Pa)	Qperm (mL/min)	Qperm (m ³ /s)	Jv (L m ⁻² h ⁻¹)	Vol. Accumulé
0	8,09	23,4	40	-	-	-	210000	150000	180000	60000	-	-	-	Vol inconnu
5	8,29	23	40	-	-	-	210000	150000	180000	60000	-	-	-	
11	8,54	23,5	40	-	-	-	210000	150000	180000	60000	-	-	-	
15	8,66	23,9	40	-	-	-	210000	150000	180000	60000	-	-	-	

Essai

Date: 20 fév. '01
 Effluent **B**
 EUF - surnageant de fosse
 Courant électrique = 2.4VDC, ~ 5A
 Q = Inconnu

Calibration

T (°C) 9,2
 Qv (LPM) -
 P1/P2 (kPa) 200/100
 Moteur 40
 Qw (ml/min) 400

NOTE: Dépôt au fond de la cuve.

Boues rougeâtres, signe de présence de Fe2 + Pas d'ampéremètre

Temps (min)	pH	T° °C	Moteur	Qmoy (L/min)	Q (m³/s)	U (m/s)	P1 (Pa)	P2 (Pa)	ΔP (Pa)	ΔPf (Pa)	Qperm (mL/min)	Qperm (m³/s)	Jv (L m⁻² h⁻¹)	Vol. Accumulé Vol inconnu
0	7,4	11,5	40	-	-	-	200000	110000	155000	90000	48	8,00E-07	28,8	
25	7,9	12,5	40	-	-	-	200000	110000	155000	90000	48	8,00E-07	28,8	
29	7,94	21,7	40	-	-	-	260000	140000	200000	120000	45	7,50E-07	27	
60	8,17	20,7	40	-	-	-	260000	120000	190000	140000	41	6,83E-07	24,6	
140	8,36	20,8	40	-	-	-	260000	120000	190000	140000	39	6,50E-07	23,4	
180	8,4	20,9	40	-	-	-	260000	120000	190000	140000	37	6,17E-07	22,2	
240	8,4	21,5	40	-	-	-	260000	120000	190000	140000	37	6,17E-07	22,2	
300	8,4	21,9	40	-	-	-	260000	120000	190000	140000	38	6,33E-07	22,8	
360	8,38	22,6	40	-	-	-	260000	110000	185000	150000	37	6,17E-07	22,2	
420	8,4	20,9	40	-	-	-	260000	110000	185000	150000	37	6,17E-07	22,2	
480	8,38	21,4	40	-	-	-	260000	110000	185000	150000	36	6,00E-07	21,6	

Essai

Date: 5 mar. '01

Effluent A

EUF - synthétique

Courant électrique = 2.4VDC, ~ 5A

Q = Inconnu

Calibration

T (°C) 21,6

Qv (LPM) -

P1/P2 (kPa) 220/100

Moteur 40

Qw (ml/min) 350

NOTE: ~30mg/L de o-po4 sous forme de K2HPO4

à 52 min, le générateur a "sauté". Il y avait courant alternatif

Temps (min)	pH	T° °C	Moteur	Qmoy (L/min)	Q (m³/s)	U (m/s)	P1 (Pa)	P2 (Pa)	ΔP (Pa)	ΔPf (Pa)	Qperm (mL/min)	Qperm (m³/s)	Jv (L m⁻² h⁻¹)	Vol. Accumulé
0	8,16	19	40	-	-	-	220000	100000	160000	120000	400	6,67E-06	240	Vol inconnu
5	8,14	21,6	40	-	-	-	210000	110000	160000	100000	390	6,50E-06	234	
10	8,14	22,3	40	-	-	-	220000	100000	160000	120000	350	5,83E-06	210	
20	8,16	22,9	40	-	-	-	220000	100000	160000	120000	340	5,67E-06	204	
40	8,16	24,1	40	-	-	-	220000	110000	165000	110000	320	5,33E-06	192	
42	8,16	26,2	40	-	-	-	220000	110000	165000	110000	300	5,00E-06	180	
52	8,16	23,4	40	-	-	-	220000	120000	170000	100000	300	5,00E-06	180	

Essai

Date: 13 mar. '01
 Effluent H
 EUF - lisier tamisé
 Courant électrique = 2.4VDC, ~ 5A
 Q = Inconnu

Calibration

T (°C) 19,8
 Qv (LPM) -
 P1/P2 (kPa) 200/100
 Moteur 40
 Qw (ml/min) 310

NOTE:

Temps (h)	pH	T° (°C)	Moteur	Qmoy (L/min)	Q (m³/s)	U (m/s)	P1 (Pa)	P2 (Pa)	ΔP (Pa)	ΔPf (Pa)	Qperm (mL/min)	Qperm (m³/s)	Jv (L m⁻² h⁻¹)	Vol. Accumulé
0	7,39	8,1	40	-	-	-	220000	50000	135000	170000	25	4,17E-07	15	Inconnu
1	7,31	22	40	-	-	-	270000	100000	185000	170000	30	5,00E-07	18	
2	7,29	23,3	40	-	-	-	290000	90000	190000	200000	30	5,00E-07	18	
3	7,28	23,9	40	-	-	-	290000	90000	190000	200000	28	4,67E-07	16,8	
4	7,28	24,4	40	-	-	-	290000	90000	190000	200000	28	4,67E-07	16,8	
5	7,26	25,3	40	-	-	-	290000	90000	190000	200000	28	4,67E-07	16,8	
6	7,25	25,6	40	-	-	-	290000	90000	190000	200000	28	4,67E-07	16,8	
7,5	7,24	26,3	40	-	-	-	290000	110000	200000	180000	27	4,50E-07	16,2	
8,5	7,23	26,3	40	-	-	-	290000	100000	195000	190000	27	4,50E-07	16,2	
9,5	7,21	26,1	40	-	-	-	290000	100000	195000	190000	26	4,33E-07	15,6	

Essai

Date: 20 mar. '01

Effluent H

ÉE-UF de lisier tamisé

Pression/vitesse constante

Q = Inconnu

Calibration

T (°C)	20
Qv (LPM)	-
P1/P2 (kPa)	220/200
Moteur	40
Qw (ml/min)	130

Temps (h)	pH	T° (°C)	Moteur	Q (L/min)	Q2 (L/min)	Qmoy (L/min)	Q (m³/s)	U (m/s)	P1 (Pa)	P2 (Pa)	ΔP (Pa)	ΔPf (Pa)	Qw (mL/min)	Qw (m³/s)	Jv (L m⁻² h⁻¹)	K/Qw (\$US/m³)	Vol. tot 36L
0	8,6	20	40	-	-	-	-	-	260000	210000	235000	50000	22	3,67E-07	13,2	13,2	
1	8,52	20,5	40	-	-	-	-	-	260000	220000	240000	40000	18	3,00E-07	10,8	10,8	
2	8,52	22,7	40	-	-	-	-	-	260000	220000	240000	40000	20	3,33E-07	12	12	
3	8,5	24,5	40	-	-	-	-	-	260000	220000	240000	40000	21	3,50E-07	12,6	12,6	
4	8,53	26,3	40	-	-	-	-	-	260000	230000	245000	30000	22	3,67E-07	13,2	13,2	~
5	8,52	27,3	40	-	-	-	-	-	260000	230000	245000	30000	22	3,67E-07	13,2	13,2	24,0
5,75	8,51	27,7	40	-	-	-	-	-	270000	230000	250000	40000	22	3,67E-07	13,2	13,2	

Essai			Calibration													
Date: 27 mar. '01			T (°C)		20											
Effluent D			Qv (LPM)		-											
Concentration - UF de FLR			P1/P2 (kPa)		200/160											
FCV			Moteur		40											
Pression/vitesse constante			Qw (ml/min)		700											
Q = Inconnu																
Temps	pH	T°	Moteur	Q	Q2	Qmoy	Q	U	P1	P2	ΔP	ΔPf	Qperm	Qperm	Jv	Vol. Accumulé
(h)		°C		(L/min)	(L/min)	(L/min)	(m ³ /s)	(m/s)	(Pa)	(Pa)	(Pa)	(Pa)	(mL/min)	(m ³ /s)	(L m ⁻² h ⁻¹)	40L total
0	8,86	6,1	40	-	-	-	-	-	200000	160000	180000	40000	40	6,67E-07	24	
1	8,72	18,8	40	-	-	-	-	-	200000	160000	180000	40000	36	6,00E-07	21,6	
2	8,65	28,8	40	-	-	-	-	-	200000	160000	180000	40000	45	7,50E-07	27	
3	8,73	19,5	40	-	-	-	-	-	200000	160000	180000	40000	36	6,00E-07	21,6	
3,75	8,7	20,5	40	-	-	-	-	-	200000	160000	180000	40000	36	6,00E-07	21,6	~
7	8,66	24,3	40	-	-	-	-	-	200000	160000	180000	40000	35	5,83E-07	21	
8	8,63	24,7	40	-	-	-	-	-	200000	160000	180000	40000	35	5,83E-07	21	
10,25	8,57	26,2	40	-	-	-	-	-	200000	160000	180000	40000	34	5,67E-07	20,4	25,0

Essai

Date: 24 avl. '01
Effluent A
UF - taux de rejet de o-po4
Pression/vitesse constante
Q = Inconnu

Calibration

T (°C)	20
Qv (LPM)	-
P1/P2 (kPa)	190/180
Moteur	40
Qw (ml/min)	1000

NOTE: Étude - facilement déterminer si diminution de flux membranaire solvant a impact sur taux de rejet du phosphore o-po4 ajoutés sous forme de K₂HPO₄

Temps (min)	pH	T° °C	Moteur	Qmoy (L/min)	Q (m ³ /s)	U (m/s)	P1 (Pa)	P2 (Pa)	ΔP (Pa)	ΔPf (Pa)	Qperm (mL/min)	Qperm (m ³ /s)	Jv (L m ⁻² h ⁻¹)	Vol. Accumulé 40L total
1	7	22,7	40	-	-	-	190000	180000	185000	10000	1000	1,67E-05	600	
5	7,3	24,3	40	-	-	-	190000	180000	185000	10000	760	1,27E-05	456	
10	7,62	25,3	40	-	-	-	190000	180000	185000	10000	620	1,03E-05	372	
15	7,95	26,7	40	-	-	-	190000	180000	185000	10000	560	9,33E-06	336	

Essai

Date: 27 avl. '01

Effluent **A**

UF - taux de rejet de o-PO4

Pression/vitesse constante

Q = Inconnu

Calibration

T (°C)

21,8

Qv (LPM)

-

P1/P2 (kPa)

200/190

Moteur

40

Qw (ml/min)

1000

NOTE: Étude - facilement déterminer si diminution de flux membranaire solvant a impact sur taux de rejet du phosphate

o-po4 ajoutés sous forme de K2HPO4

Deuxième essai. On a ~ 85L de liquide TOTAL

Temps (min)	pH	T° °C	Moteur	Q (L/min)	Q2 (L/min)	Qmoy (L/min)	Q (m³/s)	U (m/s)	P1 (Pa)	P2 (Pa)	ΔP (Pa)	ΔPf (Pa)	Qperm (mL/min)	Qperm (m³/s)	Jv (L m⁻² h⁻¹)	Vol. Accumulé 80L total
5	8,11	22	40	-	-	-	-	-	200000	190000	195000	10000	960	1,60E-05	576	
10	8,1	22,2	40	-	-	-	-	-	200000	190000	195000	10000	800	1,33E-05	480	
15	8,11	22,6	40	-	-	-	-	-	200000	190000	195000	10000	700	1,17E-05	420	
30	8,15	23,7	40	-	-	-	-	-	200000	190000	195000	10000	580	9,67E-06	348	
45	8,18	24,5	40	-	-	-	-	-	200000	190000	195000	10000	500	8,33E-06	300	
60	8,23	25,4	40	-	-	-	-	-	200000	190000	195000	10000	440	7,33E-06	264	
120	8,18	17,4	40	-	-	-	-	-	200000	190000	195000	10000	260	4,33E-06	156	
150	8,15	18,2	40	-	-	-	-	-	200000	190000	195000	10000	240	4,00E-06	144	70,0

Essai

Date: 1 mai '01
 Effluent **A**
 UF - taux de rejet de o-po4
 Pression/vitesse constante
 Q = Inconnu

Calibration

T (°C) 21,8
 Qv (LPM) -
 P1/P2 (kPa) 200/190
 Moteur 40
 Qw (ml/min) 1000

NOTE: Formation d'un vortex = problème

o-po4 ajoutés sous forme de K₂HPO₄

Temps (min)	pH	T° (°C)	Moteur	Qmoy (L/min)	Q (m ³ /s)	U (m/s)	P1 (Pa)	P2 (Pa)	ΔP (Pa)	ΔPf (Pa)	Qperm (mL/min)	Qperm (m ³ /s)	Jv (L m ⁻² h ⁻¹)	Vol. Accumulé 80L total
2	8,11	24,8	40	-	-	-	200000	190000	195000	10000	1480	2,47E-05	888	
5	8,1	24	40	-	-	-	200000	190000	195000	10000	1100	1,83E-05	660	
10	8,11	23,5	40	-	-	-	200000	190000	195000	10000	1000	1,67E-05	600	

Essai

Date: 14 Jun. '01
 Effluent : eau du robinet
 UF - Baisse de perméabilité dans le temps
 Pression/vitesse constante

Calibration

T (°C) 16
 Qv (LPM) 42
 P1/P2 (kPa) 130/110
 Moteur 40
 Qw (ml/min) 800

NOTE: Qw diminue assez rapidement, ce qui est surprenant, étant donné la théorie sur les courbes solvant
 . Probablement que des contaminants dans le système d'UF so remis en phase liquide, et donc
 interviennent dans la performance de filtration

Temps (min)	pH	T° °C	Moteur	Qmoy (L/min)	Q (m ³ /s)	U (m/s)	P1 (Pa)	P2 (Pa)	ΔP (Pa)	ΔPf (Pa)	Qperm (ml/min)	Qperm (m ³ /s)	Jv (L m ⁻² h ⁻¹)	Kc	Kp	K	K/Qw (\$US/m ³)	Vol. Accumulé 80L total
0,5	-	20	40	24,50	4,08E-04	0,81	120000	110000	115000	10000	760	1,27E-05	456	8,60E-06	1,07E-08	9,19E-07	0,07	
1	-	21	40	24,50	4,08E-04	0,81	200000	190000	195000	10000	700	1,17E-05	420	8,60E-06	1,07E-08	9,28E-07	0,08	
2	-	22	40	24,50	4,08E-04	0,81	200000	190000	195000	10000	640	1,07E-05	384	8,60E-06	1,07E-08	9,26E-07	0,09	
2,75	-	23	40	24,50	4,08E-04	0,81	200000	190000	195000	10000	600	1,00E-05	360	8,60E-06	1,07E-08	9,25E-07	0,09	
3	-	24	40	24,50	4,08E-04	0,81	200000	190000	195000	10000	560	9,33E-06	336	8,60E-06	1,07E-08	9,23E-07	0,10	
4,25	-	25	40	24,50	4,08E-04	0,81	200000	190000	195000	10000	540	9,00E-06	324	8,60E-06	1,07E-08	9,22E-07	0,10	
5	-	26	40	24,50	4,08E-04	0,81	200000	190000	195000	10000	520	8,67E-06	312	8,60E-06	1,07E-08	9,22E-07	0,11	70,0
5,75	-	27	40	24,50	4,08E-04	0,81	200000	190000	195000	10000	480	8,00E-06	288	8,60E-06	1,07E-08	9,20E-07	0,12	
6,5	-	28	40	24,50	4,08E-04	0,81	120000	110000	115000	10000	480	8,00E-06	288	8,60E-06	1,07E-08	9,14E-07	0,11	71,0
7,25	-	29	40	24,50	4,08E-04	0,81	120000	110000	115000	10000	460	7,67E-06	276	8,60E-06	1,07E-08	9,13E-07	0,12	
8	-	30	40	24,50	4,08E-04	0,81	120000	110000	115000	10000	460	7,67E-06	276	8,60E-06	1,07E-08	9,13E-07	0,12	72,0
8,75	-	31	40	24,50	4,08E-04	0,81	120000	110000	115000	10000	440	7,33E-06	264	8,60E-06	1,07E-08	9,13E-07	0,12	
9,5	-	32	40	24,50	4,08E-04	0,81	120000	110000	115000	10000	440	7,33E-06	264	8,60E-06	1,07E-08	9,13E-07	0,12	73,0
10,25	-	33	40	24,50	4,08E-04	0,81	120000	110000	115000	10000	420	7,00E-06	252	8,60E-06	1,07E-08	9,12E-07	0,13	
11	-	34	40	24,50	4,08E-04	0,81	120000	110000	115000	10000	400	6,67E-06	240	8,60E-06	1,07E-08	9,12E-07	0,14	
11,75	-	35	40	24,50	4,08E-04	0,81	120000	110000	115000	10000	400	6,67E-06	240	8,60E-06	1,07E-08	9,12E-07	0,14	
12,5	-	36	40	24,50	4,08E-04	0,81	120000	110000	115000	10000	400	6,67E-06	240	8,60E-06	1,07E-08	9,12E-07	0,14	74,0
13,25	-	37	40	24,50	4,08E-04	0,81	120000	110000	115000	10000	380	6,33E-06	228	8,60E-06	1,07E-08	9,11E-07	0,14	

Essai		Calibration	
Date: 15 jun. '01		T (°C)	21,8
Effluent I		Qv (LPM)	47
UF - lisier de porc tamisé		P1/P2 (kPa)	130/110
K/Qw en fct de U		Moteur	40
		Qw (ml/min)	800

NOTE: Formation d'un précipité blanc inerte dans le perméat
 Essai à reprendre en changeant l'ordre des essais (pression croissante, etc)
 Il y avait 15 min pour stabilisation de chaque lecture, il faut diminuer cet écart car manips = impossibles dans ces conditions

Temps (min)	pH	T° (°C)	Moteur	Qmoy (L/min)	Q (m³/s)	U (m/s)	P1 (Pa)	P2 (Pa)	ΔP (Pa)	ΔPf (Pa)	Qperm (mL/min)	Qperm (m³/s)	Jv (L m⁻² h⁻¹)	Kc	Kp	K	K/Qw (\$US/m³)	Vol. Accumulé 80L total
0	7,09	18,7	15	16,20	2,70E-04	0,53	60000	40000	50000	20000	10	1,67E-07	6	8,60E-06	1,07E-08	9,18E-07	5,51	
15	7,21	17,8	18	24,43	4,07E-04	0,80	60000	40000	50000	20000	10	1,67E-07	6	8,60E-06	1,07E-08	9,47E-07	5,68	
30	7,25	18	25	42,11	7,02E-04	1,39	60000	40000	50000	20000	13	2,17E-07	7,8	8,60E-06	1,07E-08	1,01E-06	4,66	
40	7,26	18,1	37	59,99	1,00E-03	1,98	80000	30000	55000	50000	24	4,00E-07	14,4	8,60E-06	1,07E-08	1,40E-06	3,49	
48	7,28	18,2	32	51,95	8,66E-04	1,71	70000	30000	50000	40000	25	4,17E-07	15	8,60E-06	1,07E-08	1,23E-06	2,95	
55	7,29	18,4	30	49,81	8,30E-04	1,64	70000	30000	50000	40000	25	4,17E-07	15	8,60E-06	1,07E-08	1,22E-06	2,92	
60	7,3	18,6	25	20,28	3,38E-04	0,67	60000	40000	50000	20000	17	2,83E-07	10,2	8,60E-06	1,07E-08	9,32E-07	3,29	
65	7,33	18,7	15	16,32	2,72E-04	0,54	60000	40000	50000	20000	15	2,50E-07	9	8,60E-06	1,07E-08	9,18E-07	3,67	70,0

Essai

Date: 18 jun. '01
Effluent I
UF - lisier de porc tamisé
K/Qw en fct de U

Calibration

T (°C) 21,8
Qv (LPM) 40
P1/P2 (kPa) 100/90
Moteur 40
Qw (ml/min) 1140

NOTE: Lectures à toutes les 10 minutes

50 kPa

T°	Moteur	Qmoy	Q	U	P1	P2	ΔP	ΔPf	Qperm	Jv	Kc	Kp	K	K/Qw
°C		(L/min)	(m³/s)	(m/s)	(Pa)	(Pa)	(Pa)	(Pa)	(mL/min)	(m³/s)	(L m⁻² h⁻¹)			(\$/m³)
15,3	15	18,79	3,13E-04	0,62	60000	40000	50000	20000	11	1,83E-07	8,60E-06	1,07E-08	9,27E-07	5,06
17,1	20	28,28	4,71E-04	0,93	60000	40000	50000	20000	12	2,00E-07	8,60E-06	1,07E-08	9,61E-07	4,80
17,3	25	41,48	6,91E-04	1,37	70000	30000	50000	40000	18	3,00E-07	8,60E-06	1,07E-08	1,16E-06	3,85
18,4	30	52,33	8,72E-04	1,72	70000	30000	50000	40000	24	4,00E-07	8,60E-06	1,07E-08	1,23E-06	3,08
20,2	35	61,33	1,02E-03	2,02	70000	25000	47500	45000	30	5,00E-07	8,60E-06	1,07E-08	1,35E-06	2,70
21,9	40	73,48	1,22E-03	2,42	80000	20000	50000	60000	39	6,50E-07	8,60E-06	1,07E-08	1,65E-06	2,53

100 kPa

T°	Moteur	Qmoy	Q	U	P1	P2	ΔP	ΔPf	Qperm	Jv	Kc	Kp	K	K/Qw
°C		(L/min)	(m³/s)	(m/s)	(Pa)	(Pa)	(Pa)	(Pa)	(mL/min)	(m³/s)	(L m⁻² h⁻¹)			(\$/m³)
23,4	17	21,63	3,60E-04	0,71	1E+05	90000	100000	20000	11	1,83E-07	8,60E-06	1,07E-08	9,37E-07	5,11
19,4	20	24,79	4,13E-04	0,82	1E+05	90000	100000	20000	12	2,00E-07	8,60E-06	1,07E-08	9,49E-07	4,74
19,8	25	37,31	6,22E-04	1,23	1E+05	90000	100000	20000	17	2,83E-07	8,60E-06	1,07E-08	9,93E-07	3,51
20,7	30	50,26	8,38E-04	1,66	1E+05	80000	100000	40000	21	3,50E-07	8,60E-06	1,07E-08	1,22E-06	3,48
21,5	35	60,24	1,00E-03	1,98	1E+05	80000	100000	40000	25	4,17E-07	8,60E-06	1,07E-08	1,29E-06	3,10
23,5	40	72,07	1,20E-03	2,37	1E+05	80000	100000	40000	34	5,67E-07	8,60E-06	1,07E-08	1,37E-06	2,43

150 kPa

T°	Moteur	Qmoy	Q	U	P1	P2	ΔP	ΔPf	Qperm	Jv	Kc	Kp	K	K/Qw
°C		(L/min)	(m³/s)	(m/s)	(Pa)	(Pa)	(Pa)	(Pa)	(mL/min)	(m³/s)	(L m⁻² h⁻¹)			(\$/m³)
20,7	25	10,13	1,69E-04	0,33	2E+05	140000	150000	20000	15	2,50E-07	8,60E-06	1,07E-08	8,97E-07	3,59
21,6	30	20,94	3,49E-04	0,69	2E+05	140000	150000	20000	23	3,83E-07	8,60E-06	1,07E-08	9,35E-07	2,44
22,7	35	29,87	4,98E-04	0,98	2E+05	130000	150000	40000	28	4,67E-07	8,60E-06	1,07E-08	1,07E-06	2,30
24,2	40	39,27	6,55E-04	1,29	2E+05	120000	150000	60000	34	5,67E-07	8,60E-06	1,07E-08	1,28E-06	2,26

Essai

Date: 27 jun. '01

Effluent I

UF - lisier de porc tamisé

K/Qw en fct de U

Calibration

T (°C) 21,8

Qv (LPM) 44

P1/P2 (kPa) 100/70

Moteur 40

Qw (ml/min) 1140

NOTE: Lectures à toutes les 5 minutes

50 kPa																	
Temps (min)	pH	T° °C	Moteur	Qmoy (L/min)	Q (m³/s)	U (m/s)	P1 (Pa)	P2 (Pa)	ΔP (Pa)	ΔPf (Pa)	Qperm (mL/min)	Qperm (m³/s)	Jv (L m ⁻² h ⁻¹)	Kc	Kp	K	K/Qw (\$/US/m³)
4	7,03	17,4	15	19,45	3,24E-04	0,64	60000	40000	50000	20000	11	1,83E-07	6,6	8,60E-06	1,07E-08	9,29E-07	5,07
8	7,06	17,1	17	26,33	4,39E-04	0,87	60000	40000	50000	20000	11	1,83E-07	6,6	8,60E-06	1,07E-08	9,54E-07	5,20
13	7,09	16,8	20	28,41	4,74E-04	0,94	60000	40000	50000	20000	11	1,83E-07	6,6	8,60E-06	1,07E-08	9,61E-07	5,24
17	7,1	16,6	25	37,67	6,28E-04	1,24	60000	40000	50000	20000	14	2,33E-07	8,4	8,60E-06	1,07E-08	9,94E-07	4,26
23	7,11	16,4	30	46,92	7,82E-04	1,55	70000	30000	50000	40000	21	3,50E-07	12,6	8,60E-06	1,07E-08	1,19E-06	3,41
29	7,12	16,4	35	52,81	8,80E-04	1,74	80000	20000	50000	60000	29	4,83E-07	17,4	8,60E-06	1,07E-08	1,43E-06	2,95
33	7,13	16,5	40	60,04	1,00E-03	1,98	80000	20000	50000	60000	38	6,33E-07	22,8	8,60E-06	1,07E-08	1,50E-06	2,37
38	7,13	16,7	45	61,75	1,03E-03	2,03	90000	10000	50000	80000	46	7,67E-07	27,6	8,60E-06	1,07E-08	1,74E-06	2,27
43	7,13	16,7	60	62,43	1,04E-03	2,06	100000	10000	55000	90000	65	1,08E-06	39	8,60E-06	1,07E-08	1,86E-06	1,72
100 kPa																	
47	7,15	17	20	26,57	4,43E-04	0,88	110000	90000	100000	20000	19	3,17E-07	11,4	8,60E-06	1,07E-08	9,55E-07	3,02
54	7,2	17,1	25	37,65	6,28E-04	1,24	110000	90000	100000	20000	15	2,50E-07	9	8,60E-06	1,07E-08	9,95E-07	3,98
59	7,23	17,6	30	47,04	7,84E-04	1,55	115000	85000	100000	30000	19	3,17E-07	11,4	8,60E-06	1,07E-08	1,11E-06	3,51
63	7,26	17,7	35	55,44	9,24E-04	1,83	120000	80000	100000	40000	25	4,17E-07	15	8,60E-06	1,07E-08	1,26E-06	3,01
67	7,29	17,9	40	63,66	1,06E-03	2,10	120000	80000	100000	40000	30	5,00E-07	18	8,60E-06	1,07E-08	1,31E-06	2,63
96	7,31	19,3	40	67,46	1,12E-03	2,22	120000	80000	100000	40000	39	6,50E-07	23,4	8,60E-06	1,07E-08	1,34E-06	2,06
101	7,33	19,5	45	74,59	1,24E-03	2,46	130000	70000	100000	60000	42	7,00E-07	25,2	8,60E-06	1,07E-08	1,66E-06	2,37
105	7,38	19,8	50	80,67	1,34E-03	2,66	140000	60000	100000	80000	48	8,00E-07	28,8	8,60E-06	1,07E-08	2,01E-06	2,51
108	7,43	20	60	90,74	1,51E-03	2,99	150000	50000	100000	100000	58	9,67E-07	34,8	8,60E-06	1,07E-08	2,48E-06	2,56

150 kPa																	
120	7,4	20,4	25	32,14	5,36E-04	1,06	160000	140000	150000	20000	20	3,33E-07	12	8,60E-06	1,07E-08	9,75E-07	2,93
124	7,39	20,4	25	31,94	5,32E-04	1,05	160000	140000	150000	20000	19	3,17E-07	11,4	8,60E-06	1,07E-08	9,74E-07	3,08
128	7,47	20,6	25	31,69	5,28E-04	1,04	160000	140000	150000	20000	17	2,83E-07	10,2	8,60E-06	1,07E-08	9,73E-07	3,44
138	7,5	20,6	25	31,69	5,28E-04	1,04	160000	140000	150000	20000	16	2,67E-07	9,6	8,60E-06	1,07E-08	9,73E-07	3,65
144	7,58	20,7	30	43,57	7,26E-04	1,44	160000	140000	150000	20000	20	3,33E-07	12	8,60E-06	1,07E-08	1,02E-06	3,05
147	7,61	20,7	35	53,41	8,90E-04	1,76	170000	130000	150000	40000	25	4,17E-07	15	8,60E-06	1,07E-08	1,24E-06	2,98
151	7,6	20,7	40	62,99	1,05E-03	2,07	170000	130000	150000	40000	30	5,00E-07	18	8,60E-06	1,07E-08	1,31E-06	2,62
155	7,73	20,7	45	71,53	1,19E-03	2,36	180000	120000	150000	60000	37	6,17E-07	22,2	8,60E-06	1,07E-08	1,63E-06	2,64
160	7,8	21,5	60	87,58	1,46E-03	2,88	190000	110000	150000	80000	48	8,00E-07	28,8	8,60E-06	1,07E-08	2,11E-06	2,64
200 kPa																	
165	7,74	21,8	25	27,92	4,65E-04	0,92	210000	190000	200000	20000	24	4,00E-07	14,4	8,60E-06	1,07E-08	9,60E-07	2,40
170	7,8	22,2	30	35,86	5,98E-04	1,18	210000	190000	200000	20000	19	3,17E-07	11,4	8,60E-06	1,07E-08	9,89E-07	3,12
174	7,91	22,3	35	42,86	7,14E-04	1,41	210000	190000	200000	20000	21	3,50E-07	12,6	8,60E-06	1,07E-08	1,01E-06	2,90
179	7,82	22,7	40	52,65	8,78E-04	1,73	210000	190000	200000	20000	24	4,00E-07	14,4	8,60E-06	1,07E-08	1,05E-06	2,62
184	7,95	22,9	45	63,63	1,06E-03	2,10	220000	180000	200000	40000	27	4,50E-07	16,2	8,60E-06	1,07E-08	1,31E-06	2,92
187	7,97	23,4	60	81,93	1,37E-03	2,70	240000	160000	200000	80000	36	6,00E-07	21,6	8,60E-06	1,07E-08	2,03E-06	3,38
250 kPa																	
262	7,93	20,1	40	32,82	5,47E-04	1,08	260000	240000	250000	20000	21	3,50E-07	12,6	8,60E-06	1,07E-08	9,78E-07	2,79
267	7,88	20,2	40	33,09	5,52E-04	1,09	260000	240000	250000	20000	20	3,33E-07	12	8,60E-06	1,07E-08	9,79E-07	2,94
271	8,05	20,2	45	44,85	7,47E-04	1,48	270000	240000	255000	30000	21	3,50E-07	12,6	8,60E-06	1,07E-08	1,10E-06	3,15
275	8,1	20,9	50	53,40	8,90E-04	1,76	270000	230000	250000	40000	24	4,00E-07	14,4	8,60E-06	1,07E-08	1,24E-06	3,11
279	8,06	21	55	60,78	1,01E-03	2,00	280000	220000	250000	60000	28	4,67E-07	16,8	8,60E-06	1,07E-08	1,51E-06	3,24
287	8,12	21	60	69,08	1,15E-03	2,28	280000	220000	250000	60000	31	5,17E-07	18,6	8,60E-06	1,07E-08	1,60E-06	3,10

Essai		Calibration	
Date: 29 jun. '01		T (°C)	21,8
Effluent I		Qv (LPM)	32
UF - lisier de porc tamisé		P1/P2 (kPa)	110/100
K/Qw en fct de U		Moteur	40
		Qw (ml/min)	1200

NOTE: Lectures à toutes les 5 minutes

50 kPa													
pH	T°	Moteur	Qmoy	Q	U	P1	P2	ΔP	ΔPf	Qperm	Qperm	Jv	Kc
	°C		(L/min)	(m³/s)	(m/s)	(Pa)	(Pa)	(Pa)	(Pa)	(mL/min)	(m³/s)	(L m⁻² h⁻¹)	Kp
7,42	15,4	15	16,77	2,80E-04	0,55	60000	40000	50000	20000	12	2,00E-07	7,2	8,60E-06
7,45	15,7	20	28,13	4,69E-04	0,93	60000	40000	50000	20000	12	2,00E-07	7,2	8,60E-06
7,47	16,5	25	38,05	6,34E-04	1,25	60000	40000	50000	20000	14	2,33E-07	8,4	8,60E-06
7,5	16,1	30	51,04	8,51E-04	1,68	70000	30000	50000	40000	20	3,33E-07	12	8,60E-06
7,54	15,2	35	58,79	9,80E-04	1,94	80000	20000	50000	60000	25	4,17E-07	15	8,60E-06
7,56	14,8	40	68,88	1,15E-03	2,27	80000	20000	50000	60000	32	5,33E-07	19,2	8,60E-06
7,56	14,7	45	74,35	1,24E-03	2,45	90000	10000	50000	80000	37	6,17E-07	22,2	8,60E-06
7,57	13,1	50	79,12	1,32E-03	2,61	100000	10000	55000	90000	42	7,00E-07	25,2	8,60E-06
7,57	12,5	55	84,54	1,41E-03	2,78	100000	10000	55000	90000	49	8,17E-07	29,4	8,60E-06
7,57	13,2	60	90,31	1,51E-03	2,97	100000	15000	57500	85000	60	1,00E-06	36	8,60E-06

100 kPa													
7,66	13,7	20	24,58	4,10E-04	0,81	110000	90000	100000	20000	17	2,83E-07	10,2	8,60E-06
7,7	13,2	25	36,27	6,05E-04	1,19	110000	90000	100000	20000	16	2,67E-07	9,6	8,60E-06
7,79	13,1	30	47,28	7,88E-04	1,56	110000	90000	100000	20000	21	3,50E-07	12,6	8,60E-06
7,82	13,3	35	54,05	9,01E-04	1,78	120000	90000	105000	30000	25	4,17E-07	15	8,60E-06
7,85	13,6	40	63,71	1,06E-03	2,10	120000	80000	100000	40000	29	4,83E-07	17,4	8,60E-06
7,87	14,3	45	69,76	1,16E-03	2,30	130000	80000	105000	50000	35	5,83E-07	21	8,60E-06
7,89	14,5	50	76,65	1,28E-03	2,52	130000	70000	100000	60000	40	6,67E-07	24	8,60E-06
7,9	15,5	55	83,33	1,39E-03	2,74	140000	60000	100000	80000	47	7,83E-07	28,2	8,60E-06
7,9	16,5	60	89,71	1,50E-03	2,95	150000	50000	100000	100000	55	9,17E-07	33	8,60E-06

K

K/Qw

(\$US/m³)

Essai		Calibration	
Date: 3 juil. '01		T (°C)	21,8
Effluent E		Qv (LPM)	41
UF - lisier FLR		P1/P2 (kPa)	110/100
K/Qw en fct de U		Moteur	40
		Qw (ml/min)	1100

NOTE: Lectures à toutes les 5 minutes - DP en fonction de U - FLR

50 kPa																
pH	T°	Moteur	Qmoy	Q	U	P1	P2	ΔP	ΔPf	Qperm	Qperm	Jv	Kc	Kp	K	K/Qw
	°C		(L/min)	(m ³ /s)	(m/s)	(Pa)	(Pa)	(Pa)	(Pa)	(mL/min)	(m ³ /s)	(L m ⁻² h ⁻¹)				(\$US/m ³)
8,22	13,5	15	14,08	2,35E-04	0,46	60000	40000	50000	20000	34	5,67E-07	20,4	8,60E-06	1,07E-08	9,11E-07	1,61
8,22	13,9	20	24,38	4,06E-04	0,80	60000	40000	50000	20000	32	5,33E-07	19,2	8,60E-06	1,07E-08	9,47E-07	1,78
8,22	14,7	25	37,57	6,26E-04	1,24	70000	30000	50000	40000	33	5,50E-07	19,8	8,60E-06	1,07E-08	1,13E-06	2,05
8,22	15,6	30	46,56	7,76E-04	1,53	80000	20000	50000	60000	40	6,67E-07	24	8,60E-06	1,07E-08	1,36E-06	2,04
8,22	16,1	35	56,64	9,44E-04	1,87	80000	20000	50000	60000	51	8,50E-07	30,6	8,60E-06	1,07E-08	1,47E-06	1,73
8,22	16,7	40	66,17	1,10E-03	2,18	90000	10000	50000	80000	72	1,20E-06	43,2	8,60E-06	1,07E-08	1,80E-06	1,50
8,22	17,2	45	71,42	1,19E-03	2,35	90000	10000	50000	80000	89	1,48E-06	53,4	8,60E-06	1,07E-08	1,88E-06	1,27
8,22	17,1	50	74,90	1,25E-03	2,47	100000	0	50000	100000	110	1,83E-06	66	8,60E-06	1,07E-08	2,20E-06	1,20
100 kPa																
8,22	19,2	20	22,42	3,74E-04	0,74	110000	90000	100000	20000	71	1,18E-06	42,6	8,60E-06	1,07E-08	9,41E-07	0,80
8,25	19,4	20	24,88	4,15E-04	0,82	110000	90000	100000	20000	53	8,83E-07	31,8	8,60E-06	1,07E-08	9,50E-07	1,08
8,26	19,8	25	37,29	6,21E-04	1,23	110000	90000	100000	20000	47	7,83E-07	28,2	8,60E-06	1,07E-08	9,94E-07	1,27
8,27	20	30	46,58	7,76E-04	1,53	110000	90000	100000	20000	50	8,33E-07	30	8,60E-06	1,07E-08	1,03E-06	1,23
8,29	18,2	35	54,05	9,01E-04	1,78	120000	80000	100000	40000	52	8,67E-07	31,2	8,60E-06	1,07E-08	1,25E-06	1,44
8,31	18,2	40	62,88	1,05E-03	2,07	120000	80000	100000	40000	68	1,13E-06	40,8	8,60E-06	1,07E-08	1,31E-06	1,16
8,32	20	45	69,74	1,16E-03	2,30	130000	70000	100000	60000	85	1,42E-06	51	8,60E-06	1,07E-08	1,61E-06	1,13
8,32	20,3	50	75,40	1,26E-03	2,48	140000	60000	100000	80000	100	1,67E-06	60	8,60E-06	1,07E-08	1,94E-06	1,16
8,31	21	55	79,55	1,33E-03	2,62	150000	50000	100000	100000	112	1,87E-06	67,2	8,60E-06	1,07E-08	2,28E-06	1,22

150 kPa													
8,35	22,5	25	31,30	5,22E-04	1,03	160000	140000	150000	20000	78	1,30E-06	46,8	8,60E-06
8,41	19,3	30	39,86	6,64E-04	1,31	160000	140000	150000	20000	50	8,33E-07	30	8,60E-06
8,45	17,8	35	49,56	8,26E-04	1,63	160000	140000	150000	20000	50	8,33E-07	30	8,60E-06
8,48	16,8	40	57,45	9,58E-04	1,89	170000	130000	150000	40000	56	9,33E-07	33,6	8,60E-06
8,5	15,9	45	63,82	1,06E-03	2,10	180000	120000	150000	60000	62	1,03E-06	37,2	8,60E-06
8,52	15,3	50	67,38	1,12E-03	2,22	180000	120000	150000	60000	68	1,13E-06	40,8	8,60E-06
8,53	15,2	55	72,42	1,21E-03	2,39	190000	110000	150000	80000	75	1,25E-06	45	8,60E-06
8,54	15,2	60	78,60	1,31E-03	2,59	190000	110000	150000	80000	86	1,43E-06	51,6	8,60E-06
200 kPa													
8,54	15,6	35	32,98	5,50E-04	1,09	210000	190000	200000	20000	78	1,30E-06	46,8	8,60E-06
8,54	16,8	40	43,69	7,28E-04	1,44	210000	190000	200000	20000	65	1,08E-06	39	8,60E-06
8,54	17,5	45	51,49	8,58E-04	1,70	220000	180000	200000	40000	64	1,07E-06	38,4	8,60E-06
8,54	18,6	50	57,77	9,63E-04	1,90	220000	180000	200000	40000	68	1,13E-06	40,8	8,60E-06
8,54	19,4	55	63,68	1,06E-03	2,10	220000	180000	200000	40000	75	1,25E-06	45	8,60E-06
8,54	20,2	60	70,22	1,17E-03	2,31	230000	170000	200000	60000	86	1,43E-06	51,6	8,60E-06
250 kPa													
8,56	18,1	60	41,03	6,84E-04	1,35	260000	230000	245000	30000	90	1,50E-06	54	8,60E-06

0,75
1,20
1,25
1,36
1,49
1,40
1,52
1,38

9,74E-07
1,00E-06
1,04E-06
1,27E-06
1,54E-06
1,58E-06
1,90E-06
1,98E-06

0,75
0,94
1,15
1,12
1,05
1,13

9,80E-07
1,02E-06
1,23E-06
1,27E-06
1,32E-06
1,61E-06

0,72

Essai

Date: 5 juil. '01

Effluent E

UF - listier FLR

K/Qw en fct de U

Calibration

T (°C) 21,8

Qv (LPM) 44

P1/P2 (kPa) 110/100

Moteur 40

Qw (ml/min) 1080

NOTE: Lectures à toutes les 5 minutes

DP en fonction de U - FLR

50 kPa

pH	T°	Moteur	Qmoy	Q	U	P1	P2	ΔP	ΔPf	Qperm	Qperm	Jv	Kc	Kp	K	K/Qw
	°C		(L/min)	(m ³ /s)	(m/s)	(Pa)	(Pa)	(Pa)	(Pa)	(mL/min)	(m ³ /s)	(L m ⁻² h ⁻¹)				(\$US/m ³)
8,38	23,5	15	17,02	2,84E-04	0,56	60000	40000	50000	20000	40	6,67E-07	24	8,60E-06	1,07E-08	9,21E-07	1,38
8,4	20,1	20	28,43	4,74E-04	0,94	60000	40000	50000	20000	38	6,33E-07	22,8	8,60E-06	1,07E-08	9,62E-07	1,52
8,39	18,6	25	41,60	6,93E-04	1,37	70000	30000	50000	40000	42	7,00E-07	25,2	8,60E-06	1,07E-08	1,16E-06	1,65
8,41	22	30	52,78	8,80E-04	1,74	70000	30000	50000	40000	57	9,50E-07	34,2	8,60E-06	1,07E-08	1,24E-06	1,30
8,4	22,6	35	61,81	1,03E-03	2,04	80000	20000	50000	60000	77	1,28E-06	46,2	8,60E-06	1,07E-08	1,52E-06	1,19
8,4	23,4	40	69,01	1,15E-03	2,27	90000	10000	50000	80000	98	1,63E-06	58,8	8,60E-06	1,07E-08	1,85E-06	1,13
8,4	23,7	45	75,67	1,26E-03	2,49	90000	10000	50000	80000	110	1,83E-06	66	8,60E-06	1,07E-08	1,94E-06	1,06
8,42	15,5	50	78,71	1,31E-03	2,59	100000	10000	55000	90000	136	2,27E-06	81,6	8,60E-06	1,07E-08	2,12E-06	0,94

100 kPa

8,22	23,4	20	25,93	4,32E-04	0,85	110000	90000	100000	20000	90	1,50E-06	54	8,60E-06	1,07E-08	9,54E-07	0,64
8,25	21,5	25	38,80	6,47E-04	1,28	110000	90000	100000	20000	63	1,05E-06	37,8	8,60E-06	1,07E-08	1,00E-06	0,95
8,26	21,8	30	49,44	8,24E-04	1,63	110000	90000	100000	20000	54	1,07E-06	38,4	8,60E-06	1,07E-08	1,04E-06	0,97
8,27	22	35	57,07	9,51E-04	1,88	120000	80000	100000	40000	72	1,20E-06	43,2	8,60E-06	1,07E-08	1,27E-06	1,06
8,29	21,4	40	65,95	1,10E-03	2,17	120000	80000	100000	40000	85	1,42E-06	51	8,60E-06	1,07E-08	1,33E-06	0,94
8,31	21,9	45	72,34	1,21E-03	2,38	130000	70000	100000	60000	102	1,70E-06	61,2	8,60E-06	1,07E-08	1,64E-06	0,96
8,32	22	50	78,17	1,30E-03	2,57	140000	60000	100000	80000	116	1,93E-06	69,6	8,60E-06	1,07E-08	1,98E-06	1,02
8,32	23,1	55	81,86	1,36E-03	2,70	140000	60000	100000	80000	130	2,17E-06	78	8,60E-06	1,07E-08	2,03E-06	0,94
8,31	22,3	60	85,28	1,42E-03	2,81	150000	50000	100000	100000	156	2,60E-06	93,6	8,60E-06	1,07E-08	2,38E-06	0,92

Essai

Date: 6 juil. '01
Effluent E
UF - lisier FLR
K/Qw en fct de U

Calibration

T (°C) 21,8
Qv (LPM) 40
P1/P2 (kPa) 110/100
Moteur 40
Qw (ml/min) 1120

NOTE: Lectures à toutes les 5 minutes

DP en fonction de U - FLR

50 kPa		pH	T°	Moteur	Qmoy	Q	U	P1	P2	ΔP	ΔPf	Qperm	Qperm	Jv	Kc	Kp	K	K/Qw
		°C			(L/min)	(m³/s)	(m/s)	(Pa)	(Pa)	(Pa)	(Pa)	(mL/min)	(m³/s)	(L m⁻² h⁻¹)				(\$US/m³)
8,17	14	15	15,74	2,62E-04	0,52	60000	40000	50000	20000	20000	20000	36	6,00E-07	21,6	8,60E-06	1,07E-08	9,16E-07	1,53
8,18	14,2	20	27,44	4,57E-04	0,90	60000	40000	50000	20000	20000	20000	34	5,67E-07	20,4	8,60E-06	1,07E-08	9,58E-07	1,69
8,18	14,5	25	38,87	6,48E-04	1,28	70000	30000	50000	40000	40000	40000	38	6,33E-07	22,8	8,60E-06	1,07E-08	1,14E-06	1,80
8,18	14,8	30	48,09	8,02E-04	1,58	80000	20000	50000	20000	50000	60000	40	6,67E-07	24	8,60E-06	1,07E-08	1,37E-06	2,06
8,18	15,1	35	55,62	9,27E-04	1,83	80000	20000	50000	20000	50000	60000	42	7,00E-07	25,2	8,60E-06	1,07E-08	1,46E-06	2,08
8,19	15,5	40	63,44	1,06E-03	2,09	80000	20000	50000	20000	50000	60000	70	1,17E-06	42	8,60E-06	1,07E-08	1,54E-06	1,32
8,2	16,1	45	71,50	1,19E-03	2,35	90000	10000	50000	10000	50000	80000	86	1,43E-06	51,6	8,60E-06	1,07E-08	1,88E-06	1,31
8,21	16,5	50	74,23	1,24E-03	2,45	100000	0	50000	0	50000	100000	104	1,73E-06	62,4	8,60E-06	1,07E-08	2,18E-06	1,26
100 kPa																		
8,21	17,4	20	23,22	3,87E-04	0,76	110000	90000	100000	90000	100000	20000	66	1,10E-06	39,6	8,60E-06	1,07E-08	9,44E-07	0,86
8,22	17,7	25	34,09	5,68E-04	1,12	110000	90000	100000	90000	100000	20000	54	9,00E-07	32,4	8,60E-06	1,07E-08	9,83E-07	1,09
8,24	18	30	45,17	7,53E-04	1,49	110000	90000	100000	90000	100000	20000	54	9,00E-07	32,4	8,60E-06	1,07E-08	1,02E-06	1,14
8,26	18,4	35	53,18	8,86E-04	1,75	120000	80000	100000	80000	100000	40000	58	9,67E-07	34,8	8,60E-06	1,07E-08	1,24E-06	1,28
8,27	18,7	40	61,68	1,03E-03	2,03	120000	80000	100000	80000	100000	40000	70	1,17E-06	42	8,60E-06	1,07E-08	1,30E-06	1,12
8,28	19,3	45	68,11	1,14E-03	2,24	130000	70000	100000	70000	100000	60000	82	1,37E-06	49,2	8,60E-06	1,07E-08	1,59E-06	1,16
8,3	19,9	50	73,77	1,23E-03	2,43	140000	60000	100000	60000	100000	80000	94	1,57E-06	56,4	8,60E-06	1,07E-08	1,91E-06	1,22
8,32	20,7	55	77,28	1,29E-03	2,55	140000	60000	100000	60000	100000	80000	110	1,83E-06	66	8,60E-06	1,07E-08	1,96E-06	1,07
8,33	21,2	60	81,37	1,36E-03	2,68	150000	50000	100000	50000	100000	100000	126	2,10E-06	75,6	8,60E-06	1,07E-08	2,31E-06	1,10

Essai		Calibration			
Date: 10 juil. '01		T (°C) 21,8			
Effluent E		Qv (LPM) 50			
UF - liser FLR		P1/P2 (kPa) 110/100			
FCV		Moteur 40			
Concentration		Qw (ml/min) 1160			

NOTE: Lectures à toutes les 5 minutes - DP en fonction de U - FLR																			
Temps (min)	pH	T° (°C)	Moteur	Moyenne	Q (l/min)	Q (m³/s)	U (m/s)	P1 (Pa)	P2 (Pa)	ΔP (Pa)	ΔPf (Pa)	Qperm (mL/min)	Jv (Lm ⁻² h ⁻¹)	Qperm (m³/s)	Kc	Kp	K	K/Qw	Vol. Accumulé 34L total
2	8,25	12,1	50	69,30	1,16E-03	2,28	140000	60000	60000	100000	80000	82	49	1,37E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,85E-06	1,35	
30	8,3	18,6	50	69,30	1,16E-03	2,28	140000	60000	60000	100000	80000	94	56	1,57E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,85E-06	1,18	
54	8,37	20	50	69,30	1,16E-03	2,28	140000	60000	60000	100000	80000	104	62	1,79E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,85E-06	1,07	
74	8,44	20,7	50	73,37	1,22E-03	2,42	140000	60000	60000	100000	80000	110	66	1,83E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,91E-06	1,04	
97	8,5	16,4	50	74,86	1,25E-03	2,47	140000	60000	60000	100000	80000	88	53	1,47E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,93E-06	1,32	
114	8,51	22,5	50	72,93	1,22E-03	2,40	140000	60000	60000	100000	80000	102	61	1,70E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,90E-06	1,12	
155	8,56	18	50	74,64	1,24E-03	2,46	140000	80000	80000	110000	60000	90	54	1,50E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,66E-06	1,11	
182	8,57	15,1	50	74,25	1,24E-03	2,45	140000	80000	80000	110000	60000	82	49	1,37E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,66E-06	1,21	
223	8,61	16,4	50	78,29	1,30E-03	2,58	140000	80000	80000	110000	60000	90	54	1,50E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,70E-06	1,13	
242	8,66	14,2	50	74,38	1,24E-03	2,45	140000	80000	80000	110000	60000	80	48	1,33E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,66E-06	1,24	
268	8,65	15,9	50	73,25	1,22E-03	2,41	140000	80000	80000	110000	60000	80	48	1,33E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,65E-06	1,23	
285	8,67	13,8	50	73,24	1,22E-03	2,41	140000	80000	80000	110000	60000	74	44	1,23E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,65E-06	1,33	
300	8,68	16,2	50	72,46	1,21E-03	2,39	140000	80000	80000	110000	60000	74	44	1,23E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,64E-06	1,33	
320	8,68	18,8	50	72,77	1,21E-03	2,40	140000	80000	80000	110000	60000	76	46	1,27E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,64E-06	1,29	
331	8,69	20,4	50	73,24	1,22E-03	2,41	140000	80000	80000	110000	60000	78	47	1,30E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,65E-06	1,27	
360	8,7	23,4	50	74,10	1,24E-03	2,44	140000	80000	80000	110000	60000	80	48	1,33E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,65E-06	1,24	31,0

Essai

Date: 11 juil. '01
Effluent : Eau du robinet
UF - Calibration de UF
Calibration
Eau du rob.

Calibration

T (°C)	20,1
Qv (LPM)	40
P1/P2 (kPa)	110/100
Moteur	35
Qw (ml/min)	1140

NOTE: Lectures à toutes les 5 minutes

15Kpa

Temps (min)	pH	T° °C	Moteur	Moyenne (L/min)	Q (m³/s)	U (m/s)	P1 (Pa)	P2 (Pa)	ΔP (Pa)	ΔPf (Pa)	Qperm (mL/min)	Qperm (m³/s)	Jv	Kc	Kp	K	K/Qw (\$US/m³)
1	8,09	19,7	20	23,97	4,00E-04	0,79	30000	0	15000	30000	400	6,67E-06	240	8,60E-06	1,07E-08	9,89E-07	0,15
2	8,09	19,7	20	23,97	4,00E-04	0,79	30000	0	15000	30000	400	6,67E-06	240	8,60E-06	1,07E-08	9,89E-07	0,15
2,5	8,09	19,7	20	23,97	4,00E-04	0,79	30000	0	15000	30000	400	6,67E-06	240	8,60E-06	1,07E-08	9,89E-07	0,15
4	8,09	19,7	20	23,97	4,00E-04	0,79	30000	0	15000	30000	400	6,67E-06	240	8,60E-06	1,07E-08	9,89E-07	0,15
5,5	8,09	19,7	20	23,97	4,00E-04	0,79	30000	0	15000	30000	400	6,67E-06	240	8,60E-06	1,07E-08	9,89E-07	0,15
7	8,09	19,7	20	23,97	4,00E-04	0,79	30000	0	15000	30000	400	6,67E-06	240	8,60E-06	1,07E-08	9,89E-07	0,15
8,5	8,09	19,7	20	23,97	4,00E-04	0,79	30000	0	15000	30000	400	6,67E-06	240	8,60E-06	1,07E-08	9,89E-07	0,15
10	8,09	19,7	20	23,97	4,00E-04	0,79	30000	0	15000	30000	390	6,50E-06	234	8,60E-06	1,07E-08	9,89E-07	0,15

100Kpa

2	8,08	20,8	30	45,16	7,53E-04	1,49	110000	80000	95000	30000	800	1,33E-05	480	8,60E-06	1,07E-08	1,12E-06	0,08
3,5	8,08	20,8	30	45,16	7,53E-04	1,49	110000	80000	95000	30000	760	1,27E-05	456	8,60E-06	1,07E-08	1,11E-06	0,09
5	8,08	20,8	30	45,16	7,53E-04	1,49	110000	80000	95000	30000	720	1,20E-05	432	8,60E-06	1,07E-08	1,11E-06	0,09
6,5	8,08	20,8	30	45,16	7,53E-04	1,49	110000	80000	95000	30000	690	1,15E-05	414	8,60E-06	1,07E-08	1,11E-06	0,10
8	8,08	20,8	30	45,16	7,53E-04	1,49	110000	80000	95000	30000	670	1,12E-05	402	8,60E-06	1,07E-08	1,11E-06	0,10
9,5	8,08	20,8	30	45,16	7,53E-04	1,49	110000	80000	95000	30000	660	1,10E-05	396	8,60E-06	1,07E-08	1,11E-06	0,10
11	8,08	20,8	30	45,16	7,53E-04	1,49	110000	80000	95000	30000	630	1,05E-05	378	8,60E-06	1,07E-08	1,11E-06	0,11
12,5	8,08	20,8	30	45,16	7,53E-04	1,49	110000	80000	95000	30000	630	1,05E-05	378	8,60E-06	1,07E-08	1,11E-06	0,11
14	8,08	20,8	30	45,16	7,53E-04	1,49	110000	80000	95000	30000	610	1,02E-05	366	8,60E-06	1,07E-08	1,11E-06	0,11
15,5	8,08	20,8	30	45,16	7,53E-04	1,49	110000	80000	95000	30000	600	1,00E-05	360	8,60E-06	1,07E-08	1,11E-06	0,11
17	8,08	20,8	30	45,16	7,53E-04	1,49	110000	80000	95000	30000	590	9,83E-06	354	8,60E-06	1,07E-08	1,11E-06	0,11

150Kpa

1	8,17	23,4	40	59,56	9,93E-04	1,96	160000	120000	140000	40000	790	1,32E-05	474	8,60E-06	1,07E-08	1,30E-06	0,10
2	8,08	23,4	40	59,56	9,93E-04	1,96	160000	120000	140000	40000	740	1,23E-05	444	8,60E-06	1,07E-08	1,30E-06	0,11
3	8,08	23,4	40	59,56	9,93E-04	1,96	160000	120000	140000	40000	740	1,23E-05	444	8,60E-06	1,07E-08	1,30E-06	0,11
4	8,08	23,4	40	59,56	9,93E-04	1,96	160000	120000	140000	40000	720	1,20E-05	432	8,60E-06	1,07E-08	1,30E-06	0,11
5,5	8,08	23,4	40	59,56	9,93E-04	1,96	160000	120000	140000	40000	720	1,20E-05	432	8,60E-06	1,07E-08	1,30E-06	0,11
6,5	8,08	23,4	40	59,56	9,93E-04	1,96	160000	120000	140000	40000	680	1,13E-05	408	8,60E-06	1,07E-08	1,30E-06	0,11
7,5	8,08	23,4	40	59,56	9,93E-04	1,96	160000	120000	140000	40000	660	1,10E-05	396	8,60E-06	1,07E-08	1,30E-06	0,12
8,5	8,08	23,4	40	59,56	9,93E-04	1,96	160000	120000	140000	40000	660	1,10E-05	396	8,60E-06	1,07E-08	1,30E-06	0,12
9,5	8,08	23,4	40	59,56	9,93E-04	1,96	160000	120000	140000	40000	660	1,10E-05	396	8,60E-06	1,07E-08	1,30E-06	0,12
10,5	8,08	23,4	40	59,56	9,93E-04	1,96	160000	120000	140000	40000	660	1,10E-05	396	8,60E-06	1,07E-08	1,30E-06	0,12

Essai		Calibration																	
Date: 12 juil. '01		T (°C) 20,1																	
Effluent E		Qv (LPM) 40																	
UF - lisier FLR		P1/P2 (kPa) 110/100																	
FCV		Moteur 30																	
Concentration		Qw (ml/min) 1100																	
FLR																			
NOTE																			
Temps (h)	pH	T° °C	Moteur	Qmoy (L/min)	Q (m³/s)	U (m/s)	P1 (Pa)	P2 (Pa)	ΔP (Pa)	ΔPf (Pa)	Qperm (mL/min)	Qperm (m³/s)	Jv (L m ⁻² h ⁻¹)	Kc	Kp	K	K/Qw (\$US/m³)	Vol. Accumulé 26L total	
0	8,13	17,4	50	62,30	1,04E-03	2,05	180000	130000	155000	50000	114	1,90E-06	68,40	8,60E-06	1,07E-08	1,42E-06	0,75		
0,5	8,17	14	50	66,53	1,11E-03	2,19	180000	130000	155000	50000	92	1,53E-06	55,20	8,60E-06	1,07E-08	1,46E-06	0,95		
1	8,18	14,2	50	69,96	1,17E-03	2,30	160000	110000	135000	50000	80	1,33E-06	48,00	8,60E-06	1,07E-08	1,49E-06	1,11		
1,5	8,18	14,5	50	69,43	1,16E-03	2,29	160000	110000	135000	50000	70	1,17E-06	42,00	8,60E-06	1,07E-08	1,48E-06	1,27		
1,95	8,18	14,8	50	69,52	1,16E-03	2,29	170000	110000	140000	60000	80	1,33E-06	48,00	8,60E-06	1,07E-08	1,61E-06	1,20		
2,5	8,18	15,1	50	69,36	1,16E-03	2,28	170000	110000	140000	60000	74	1,23E-06	44,40	8,60E-06	1,07E-08	1,60E-06	1,30		
3	8,19	15,5	50	69,50	1,16E-03	2,29	170000	110000	140000	60000	70	1,17E-06	42,00	8,60E-06	1,07E-08	1,61E-06	1,38		
3,5	8,2	16,1	50	69,94	1,17E-03	2,30	170000	110000	140000	60000	74	1,23E-06	44,40	8,60E-06	1,07E-08	1,61E-06	1,31		
4	8,21	16,5	50	70,57	1,18E-03	2,32	170000	110000	140000	60000	74	1,23E-06	44,40	8,60E-06	1,07E-08	1,62E-06	1,31		
4,5	8,21	16,5	50	66,40	1,11E-03	2,19	170000	110000	140000	60000	70	1,17E-06	42,00	8,60E-06	1,07E-08	1,57E-06	1,35	21,0	

Essai				Calibration														
Date: 1 août '01				T (°C)														
Effluent I				Qv (LPM)														
UF - lisier de porc tamisé (9mars01)				P1/P2 (kPa)														
FCV				Moteur														
Concentration				Qw (ml/min)														
Temps (min)	pH	T° °C	Moteur	Qmoy (L/min)	Q (m³/s)	U (m/s)	P1 (Pa)	P2 (Pa)	ΔP (Pa)	ΔPf (Pa)	Qperm (mL/min)	Qperm (m³/s)	Jv (L m ⁻² h ⁻¹)	Kc	Kp	K	K/Qw (\$/US/m³)	Vol. Accumulé 30L total
0	7,02	12,3	55	60,74	1,01E-03	2,00	150000	50000	100000	100000	54	9,00E-07	32,4	8,60E-06	1,07E-08	1,94E-06	2,16	
34	7,29	23,6	55	71,42	1,19E-03	2,35	140000	60000	100000	80000	68	1,13E-06	40,8	8,60E-06	1,07E-08	1,88E-06	1,66	
55	7,53	16,7	55	81,39	1,36E-03	2,68	140000	60000	100000	80000	58	9,67E-07	34,8	8,60E-06	1,07E-08	2,02E-06	2,09	
90	7,7	19,1	55	82,50	1,37E-03	2,72	140000	60000	100000	80000	56	9,33E-07	33,6	8,60E-06	1,07E-08	2,04E-06	2,18	
120	7,86	17,6	55	83,50	1,39E-03	2,75	140000	60000	100000	80000	52	8,67E-07	31,2	8,60E-06	1,07E-08	2,05E-06	2,37	
153	7,94	18,8	55	83,16	1,39E-03	2,74	140000	60000	100000	80000	52	8,67E-07	31,2	8,60E-06	1,07E-08	2,05E-06	2,36	
190	8,03	22,3	55	83,21	1,39E-03	2,74	140000	60000	100000	80000	56	9,33E-07	33,6	8,60E-06	1,07E-08	2,05E-06	2,19	
213	7,15	18,8	55	84,19	1,40E-03	2,77	140000	60000	100000	80000	50	8,33E-07	30	8,60E-06	1,07E-08	2,06E-06	2,47	
255	8,17	22,2	55	84,63	1,41E-03	2,79	140000	60000	100000	80000	52	8,67E-07	31,2	8,60E-06	1,07E-08	2,07E-06	2,39	
270	7,18	22,3	55	84,82	1,41E-03	2,79	140000	60000	100000	80000	52	8,67E-07	31,2	8,60E-06	1,07E-08	2,07E-06	2,39	
300	8,27	19,4	55	83,84	1,40E-03	2,76	140000	60000	100000	80000	50	8,33E-07	30	8,60E-06	1,07E-08	2,06E-06	2,47	
330	8,28	21,4	55	84,28	1,40E-03	2,78	140000	60000	100000	80000	50	8,33E-07	30	8,60E-06	1,07E-08	2,06E-06	2,48	
360	8,29	23,1	55	86,12	1,44E-03	2,84	140000	60000	100000	80000	52	8,67E-07	31,2	8,60E-06	1,07E-08	2,09E-06	2,41	
390	8,38	18,6	55	84,45	1,41E-03	2,78	140000	60000	100000	80000	48	8,00E-07	28,8	8,60E-06	1,07E-08	2,07E-06	2,58	
420	8,37	22,5	55	84,49	1,41E-03	2,78	140000	60000	100000	80000	48	8,00E-07	28,8	8,60E-06	1,07E-08	2,07E-06	2,58	
480	8,35	23,1	55	85,24	1,42E-03	2,81	140000	60000	100000	80000	50	8,33E-07	30	8,60E-06	1,07E-08	2,08E-06	2,49	24,0

Essai		Calibration	
Date: 3 août '01		T (°C)	21,8
Effluent : Eau du robinet		Qv (LPM)	40
UF - eau du robinet		P1/P2 (kPa)	110/100
Concentration		Moteur	40
		Qw (ml/min)	1460

NOTE: Étudier impact de variation de t° sur Qw, en eau du robinet

Temps (min)	pH	T° °C	Moteur	Moyenne	Q (L/min)	U (m/s)	P1 (Pa)	P2 (Pa)	ΔP (Pa)	ΔPf (Pa)	Qperm (mL/min)	Jv (L m ⁻² h ⁻¹)	Qperm (m ³ /s)	Kc	Kp	K	K/Qw (\$US/m ⁻³)
0,5	8,67	23,3	40	59,46	9,91E-04	1,96	120000	80000	100000	40000	1240	744	2,07E-05	8,60E-06	1,07E-08	1,31E-06	0,06
2	8,72	23,5	40	60,24	1,00E-03	1,98	120000	80000	100000	40000	1080	648	1,80E-05	8,60E-06	1,07E-08	1,31E-06	0,07
3,5	8,71	23,5	40	59,64	9,94E-04	1,96	120000	80000	100000	40000	980	588	1,93E-05	8,60E-06	1,07E-08	1,30E-06	0,08
5,5	8,71	23,5	40	60,57	1,01E-03	2,00	120000	80000	100000	40000	840	504	1,40E-05	8,60E-06	1,07E-08	1,31E-06	0,09
7,5	8,53	24	40	60,22	1,00E-03	1,98	120000	80000	100000	40000	800	480	1,33E-05	8,60E-06	1,07E-08	1,30E-06	0,10
9	8,54	24	40	60,19	1,00E-03	1,98	120000	80000	100000	40000	740	444	1,23E-05	8,60E-06	1,07E-08	1,30E-06	0,11
11	8,39	24,4	40	60,59	1,01E-03	2,00	120000	80000	100000	40000	720	432	1,20E-05	8,60E-06	1,07E-08	1,31E-06	0,11
12,5	8,43	24,1	40	61,65	1,03E-03	2,03	120000	80000	100000	40000	700	420	1,17E-05	8,60E-06	1,07E-08	1,31E-06	0,11
15	8,33	24,4	40	62,23	1,04E-03	2,05	120000	80000	100000	40000	640	384	1,07E-05	8,60E-06	1,07E-08	1,32E-06	0,12
16,5	8,37	24,1	40	62,33	1,04E-03	2,05	120000	80000	100000	40000	640	384	1,07E-05	8,60E-06	1,07E-08	1,32E-06	0,12
18	8,37	24,6	40	62,27	1,04E-03	2,05	120000	80000	100000	40000	620	372	1,03E-05	8,60E-06	1,07E-08	1,32E-06	0,13
19,5	8,33	24,6	40	62,33	1,04E-03	2,05	120000	80000	100000	40000	600	360	1,00E-05	8,60E-06	1,07E-08	1,32E-06	0,13
21,5	8,19	24,5	40	63,32	1,06E-03	2,09	120000	80000	100000	40000	600	360	1,00E-05	8,60E-06	1,07E-08	1,32E-06	0,13
23	8,23	24,7	40	63,79	1,06E-03	2,10	120000	80000	100000	40000	560	336	9,33E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,33E-06	0,14
24,5	8,25	24,7	40	63,57	1,06E-03	2,09	120000	80000	100000	40000	560	336	9,33E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,32E-06	0,14
26	8,26	24,8	40	64,21	1,07E-03	2,11	120000	80000	100000	40000	560	336	9,33E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,33E-06	0,14
29,5	8,23	24,5	40	63,41	1,06E-03	2,09	120000	80000	100000	40000	540	324	9,00E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,32E-06	0,15
31,5	8,25	24,7	40	64,66	1,08E-03	2,13	120000	80000	100000	40000	520	312	8,67E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,33E-06	0,15
33	8,26	24,9	40	64,18	1,07E-03	2,11	120000	80000	100000	40000	520	312	8,67E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,33E-06	0,15
35,5	8,24	24,5	40	63,84	1,06E-03	2,10	120000	80000	100000	40000	500	300	8,33E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,32E-06	0,16
37	8,25	24,5	40	63,54	1,06E-03	2,09	120000	80000	100000	40000	500	300	8,33E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,32E-06	0,16
39,5	8,27	24,6	40	63,76	1,06E-03	2,10	120000	80000	100000	40000	480	288	8,00E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,32E-06	0,17
42,5	8,19	24,7	40	63,26	1,05E-03	2,08	120000	80000	100000	40000	480	288	8,00E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,32E-06	0,17
44,5	8,19	24,8	40	63,43	1,06E-03	2,09	120000	80000	100000	40000	480	288	8,00E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,32E-06	0,17
48,5	8,18	23,8	40	63,47	1,06E-03	2,09	120000	80000	100000	40000	480	288	8,00E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,32E-06	0,17
52,5	8,18	24,5	40	63,92	1,07E-03	2,11	120000	80000	100000	40000	460	276	7,67E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,32E-06	0,17
54,5	8,19	24,7	40	64,37	1,07E-03	2,12	120000	80000	100000	40000	460	276	7,67E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,33E-06	0,17
59,5	8,19	24,9	40	63,67	1,06E-03	2,10	120000	80000	100000	40000	460	276	7,67E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,32E-06	0,17

Temps (min)	pH	T° °C	Moteur Moyenne	Q (m³/s)	U (m/s)	P1 (Pa)	P2 (Pa)	ΔP (Pa)	ΔPf (Pa)	Qperm (mL/min)	Jv (L m⁻² h⁻¹)	Qperm (m³/s)	Kc	Kp	K	K/Qw (\$/US/m²)
1	8,22	25,1	40	59,46	9,91E-04	1,96	120000	80000	100000	40000	576	1,60E-05	8,60E-06	1,07E-08	1,30E-06	0,08
2,5	8,16	25,3	40	60,24	1,00E-03	1,98	120000	80000	100000	40000	504	1,40E-05	8,60E-06	1,07E-08	1,30E-06	0,09
4	8,19	25,4	40	59,64	9,94E-04	1,96	120000	80000	100000	40000	480	1,30E-05	8,60E-06	1,07E-08	1,30E-06	0,10
6	8,21	25,7	40	60,57	1,01E-03	2,00	120000	80000	100000	40000	420	1,17E-05	8,60E-06	1,07E-08	1,30E-06	0,11
8	8,21	25,9	40	60,22	1,00E-03	1,98	120000	80000	100000	40000	360	1,00E-05	8,60E-06	1,07E-08	1,30E-06	0,13
10	8,21	26,4	40	60,19	1,00E-03	1,98	120000	80000	100000	40000	360	1,00E-05	8,60E-06	1,07E-08	1,30E-06	0,13
12	8,17	26,7	40	60,59	1,01E-03	2,00	120000	80000	100000	40000	360	1,00E-05	8,60E-06	1,07E-08	1,30E-06	0,13
15,5	8,2	27,3	40	61,65	1,03E-03	2,03	120000	80000	100000	40000	372	1,03E-05	8,60E-06	1,07E-08	1,31E-06	0,13
17,5	8,21	27,7	40	62,23	1,04E-03	2,05	120000	80000	100000	40000	372	1,03E-05	8,60E-06	1,07E-08	1,31E-06	0,13
19,5	8,22	27,9	40	62,33	1,04E-03	2,05	120000	80000	100000	40000	360	1,00E-05	8,60E-06	1,07E-08	1,31E-06	0,13
21,5	8,22	28,3	40	62,27	1,04E-03	2,05	120000	80000	100000	40000	360	1,00E-05	8,60E-06	1,07E-08	1,31E-06	0,13
23,5	8,27	28,7	40	62,33	1,04E-03	2,05	120000	80000	100000	40000	336	9,33E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,31E-06	0,14
26,5	8,24	29,2	40	63,32	1,06E-03	2,09	120000	80000	100000	40000	324	9,00E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,32E-06	0,15
29,5	8,27	29,5	40	63,79	1,06E-03	2,10	120000	80000	100000	40000	324	9,00E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,32E-06	0,15
32,5	8,25	29,9	40	63,57	1,06E-03	2,09	120000	80000	100000	40000	324	9,00E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,32E-06	0,15
35,5	8,26	30,5	40	64,21	1,07E-03	2,11	120000	80000	100000	40000	312	8,67E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,33E-06	0,15
39,5	8,26	30,8	40	63,41	1,06E-03	2,09	120000	80000	100000	40000	312	8,67E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,32E-06	0,15
42,5	8,28	31	40	64,66	1,08E-03	2,13	120000	80000	100000	40000	324	9,00E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,33E-06	0,15
48	8,29	31,5	40	64,18	1,07E-03	2,11	120000	80000	100000	40000	312	8,67E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,33E-06	0,15
50,5	8,3	31,7	40	63,84	1,06E-03	2,10	120000	80000	100000	40000	300	8,33E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,32E-06	0,16
52,5	8,3	31,9	40	63,54	1,06E-03	2,09	120000	80000	100000	40000	300	8,33E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,32E-06	0,16
55,5	8,3	32	40	63,76	1,06E-03	2,10	120000	80000	100000	40000	300	8,33E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,32E-06	0,16
59,5	8,31	32,5	40	63,26	1,05E-03	2,08	120000	80000	100000	40000	300	8,33E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,32E-06	0,16

Temps (min)	pH	T° °C	Moteur Moyenne	Q (m³/s)	U (m/s)	P1 (Pa)	P2 (Pa)	ΔP (Pa)	ΔPf (Pa)	Qperm (mL/min)	Jv (L m⁻² h⁻¹)	Qperm (m³/s)	Kc	Kp	K	K/Qw (\$/US/m²)
0,5	8,31	32	40	59,46	9,91E-04	1,96	120000	80000	100000	40000	660	1,83E-05	8,60E-06	1,07E-08	1,30E-06	0,07
2	8,31	32	40	60,24	1,00E-03	1,98	120000	80000	100000	40000	576	1,60E-05	8,60E-06	1,07E-08	1,31E-06	0,08
5	8,31	31,5	40	59,64	9,94E-04	1,96	120000	80000	100000	40000	480	1,33E-05	8,60E-06	1,07E-08	1,30E-06	0,10
6,5	8,31	29,4	40	60,57	1,01E-03	2,00	120000	80000	100000	40000	420	1,17E-05	8,60E-06	1,07E-08	1,30E-06	0,11
7,5	8,31	28,1	40	60,22	1,00E-03	1,98	120000	80000	100000	40000	360	1,00E-05	8,60E-06	1,07E-08	1,30E-06	0,12
8,5	8,31	27	40	60,19	1,00E-03	1,98	120000	80000	100000	40000	384	1,07E-05	8,60E-06	1,07E-08	1,30E-06	0,12
9,5	8,31	26	40	60,59	1,01E-03	2,00	120000	80000	100000	40000	360	1,00E-05	8,60E-06	1,07E-08	1,30E-06	0,13
10,5	8,31	25,6	40	61,65	1,03E-03	2,03	120000	80000	100000	40000	360	1,00E-05	8,60E-06	1,07E-08	1,31E-06	0,13
11,5	8,31	24,9	40	62,23	1,04E-03	2,05	120000	80000	100000	40000	336	9,33E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,31E-06	0,14
12,5	8,31	24,6	40	62,33	1,04E-03	2,05	120000	80000	100000	40000	312	8,67E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,31E-06	0,15
14,5	8,31	23,4	40	62,27	1,04E-03	2,05	120000	80000	100000	40000	300	8,33E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,31E-06	0,16
15,5	8,31	22,7	40	62,33	1,04E-03	2,05	120000	80000	100000	40000	288	8,00E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,31E-06	0,16
16,5	8,31	22	40	63,32	1,06E-03	2,09	120000	80000	100000	40000	288	8,00E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,32E-06	0,17
17,5	8,31	21,4	40	63,79	1,06E-03	2,10	120000	80000	100000	40000	276	7,67E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,32E-06	0,17
18,5	8,31	20,8	40	63,57	1,06E-03	2,09	120000	80000	100000	40000	264	7,33E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,32E-06	0,18
19,5	8,31	20,5	40	64,21	1,07E-03	2,11	120000	80000	100000	40000	252	7,00E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,33E-06	0,19
20,5	8,31	20	40	63,41	1,06E-03	2,09	120000	80000	100000	40000	252	7,00E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,32E-06	0,19
22,5	8,31	19,5	40	64,66	1,08E-03	2,13	120000	80000	100000	40000	240	6,67E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,33E-06	0,20
23,5	8,31	19	40	64,18	1,07E-03	2,11	120000	80000	100000	40000	240	6,67E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,32E-06	0,20
24,5	8,31	18,5	40	63,84	1,06E-03	2,10	120000	80000	100000	40000	228	6,33E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,32E-06	0,21
26	8,31	17,7	40	63,54	1,06E-03	2,09	120000	80000	100000	40000	228	6,33E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,32E-06	0,21
27	8,31	17,4	40	63,76	1,06E-03	2,10	120000	80000	100000	40000	216	6,00E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,32E-06	0,22
28,5	8,31	17,2	40	63,26	1,05E-03	2,08	120000	80000	100000	40000	216	6,00E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,32E-06	0,22
29,5	8,31	17	40	63,43	1,06E-03	2,09	120000	80000	100000	40000	216	6,00E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,32E-06	0,22
30,5	8,31	16,8	40	63,47	1,06E-03	2,09	120000	80000	100000	40000	204	5,67E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,32E-06	0,23
31,5	8,31	16,6	40	63,92	1,07E-03	2,11	120000	80000	100000	40000	204	5,67E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,32E-06	0,23
32,5	8,31	16,4	40	64,37	1,07E-03	2,12	120000	80000	100000	40000	204	5,67E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,33E-06	0,23
34,5	8,31	15,6	40	63,67	1,06E-03	2,10	120000	80000	100000	40000	204	5,67E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,32E-06	0,23

Essai

Date: 6 août '01
Effluent E
UF - FLR
Échantillons pour coliformes

Calibration

T (°C)	21,8
Qv (LPM)	40
P1/P2 (kPa)	110/100
Moteur	40
Qw (ml/min)	1240

NOTE:

Pas de mesures de prises

Essai				Calibration													
Date: 16 août '01				T (°C)													
Effluent E				Qv (LPM)													
UF - FLR				P1/P2 (kPa)													
FCV				Moteur													
Concentration				Qw (ml/min)													
				1000													
Temps (min)	pH	T° °C	Moteur	Qmoy (L/min)	Q (m³/s)	U (m/s)	P1 (Pa)	P2 (Pa)	ΔP (Pa)	ΔP _r (Pa)	Qperm (mL/min)	Jv (L m ⁻² h ⁻¹)	Qperm (m³/s)	Kc	Kp	K	K/Qw (\$/US/m³)
0	8,19	11,1	60	59,60	9,93E-04	1,96	230000	170000	200000	60000	100	60	1,67E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,50E-06	0,90
32	8,41	21,6	60	61,33	1,02E-03	2,02	220000	180000	200000	40000	90	54	1,50E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,30E-06	0,87
59	8,61	27,9	60	62,43	1,04E-03	2,06	220000	180000	200000	40000	112	67	1,87E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,31E-06	0,70
92	8,68	17,1	60	59,54	9,92E-04	1,96	220000	180000	200000	40000	88	53	1,47E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,29E-06	0,88
122	8,73	20,7	60	58,92	9,82E-04	1,94	220000	180000	200000	40000	90	54	1,50E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,28E-06	0,86
145	8,78	23,4	60	57,34	9,56E-04	1,89	220000	180000	200000	40000	90	54	1,50E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,27E-06	0,85
180	8,83	24,3	60	57,67	9,61E-04	1,90	220000	180000	200000	40000	95	57	1,58E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,27E-06	0,81
210	8,86	21,1	60	56,47	9,41E-04	1,86	220000	180000	200000	40000	80	48	1,33E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,27E-06	0,95
240	8,88	25	60	54,22	9,04E-04	1,79	220000	180000	200000	40000	90	54	1,50E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,25E-06	0,83
270	8,93	27,7	60	53,30	8,88E-04	1,76	220000	180000	200000	40000	84	50	1,40E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,24E-06	0,89
300	8,95	25	60	53,43	8,91E-04	1,76	220000	180000	200000	40000	78	47	1,30E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,24E-06	0,96
331	8,97	26,7	60	53,26	8,88E-04	1,75	220000	180000	200000	40000	74	44	1,23E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,24E-06	1,01
364	8,99	24,1	60	54,09	9,01E-04	1,78	220000	180000	200000	40000	68	41	1,13E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,25E-06	1,10
407	8,99	24,1	60	54,75	9,13E-04	1,80	220000	180000	200000	40000	65	39	1,08E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,25E-06	1,16

Essai

Date: 22 août '01

Effluent E

UF - FLR

FCV

Concentration

Calibration

T (°C) 21,8

Qv (LPM) 45

P1/P2 (kPa) 110/100

Moteur 40

Qw (ml/min) 1360

NOTE:

Temps (min)	pH	T° °C	Moteur	Moyenne (L/min)	Q (m³/s)	U (m/s)	P1 (Pa)	P2 (Pa)	ΔP (Pa)	ΔP _i (Pa)	Qperm (mL/min)	Jv (L m ⁻² h ⁻¹)	Qperm (m³/s)	Kc	Kp	K	K/Qw (\$US/m³)
0	8,67	20	50	55,84	9,31E-04	1,84	220000	180000	200000	40000	70	42	1,17E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,26E-06	1,08
41,5	8,73	17,9	50	54,43	9,07E-04	1,79	220000	200000	210000	20000	60	36	1,00E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,06E-06	1,06
60	8,72	21,5	50	55,30	9,22E-04	1,82	220000	200000	210000	20000	64	38	1,07E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,06E-06	0,99
113	8,79	22,3	50	55,29	9,21E-04	1,82	220000	180000	200000	40000	62	37	1,03E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,26E-06	1,22
211	8,91	21,7	50	55,37	9,23E-04	1,82	220000	180000	200000	40000	56	34	9,33E-07	8,60E-06	1,07E-08	1,26E-06	1,35
240	8,92	23,2	50	54,70	9,12E-04	1,80	220000	180000	200000	40000	56	34	9,33E-07	8,60E-06	1,07E-08	1,25E-06	1,34
270	8,94	22,7	50	54,37	9,06E-04	1,79	220000	180000	200000	40000	54	32	9,00E-07	8,60E-06	1,07E-08	1,25E-06	1,39
300	9,95	23	50	55,09	9,18E-04	1,81	220000	180000	200000	40000	56	34	9,33E-07	8,60E-06	1,07E-08	1,25E-06	1,34
330	8,97	22,3	50	55,17	9,20E-04	1,82	220000	180000	200000	40000	54	32	9,00E-07	8,60E-06	1,07E-08	1,26E-06	1,39
360	8,98	22,2	50	54,77	9,13E-04	1,80	220000	180000	200000	40000	52	31	8,67E-07	8,60E-06	1,07E-08	1,25E-06	1,45
390	8,98	24,5	50	54,98	9,16E-04	1,81	220000	180000	200000	40000	56	34	9,33E-07	8,60E-06	1,07E-08	1,25E-06	1,34
420	9,01	22,8	50	54,42	9,07E-04	1,79	220000	180000	200000	40000	50	30	8,33E-07	8,60E-06	1,07E-08	1,25E-06	1,50
450	9,01	24,3	50	55,14	9,19E-04	1,82	220000	180000	200000	40000	54	32	9,00E-07	8,60E-06	1,07E-08	1,26E-06	1,39
480	9,02	25	50	54,89	9,15E-04	1,81	220000	180000	200000	40000	54	32	9,00E-07	8,60E-06	1,07E-08	1,25E-06	1,39

Essai

Date: 24 août '01

Effluent F

UF - FLR

K/Qw

Variation Qv, U, etc

Calibration

T (°C)

Qv (LPM)

P1/P2 (kPa)

Moteur

Qw (ml/min)

Temps (min)	pH	T° (°C)	Moteur	Moyenne (L/min)	Q (m³/s)	U (m/s)	P1 (Pa)	P2 (Pa)	ΔP (Pa)	ΔPf (Pa)	Qperm (mL/min)	Jv (L m⁻² h⁻¹)	Qperm (m³/s)	Kc	Kp	K	K/Qw (\$/US/m³)
1	8,3	15,9	15	13,67	2,28E-04	0,45	60000	40000	50000	20000	62	37	1,03E-06	8,60E-06	1,07E-08	9,09E-07	0,88
2	8,3	17,2	15	14,31	2,39E-04	0,47	60000	40000	50000	20000	30	18	5,00E-07	8,60E-06	1,07E-08	9,11E-07	1,82
3	8,32	17,3	15	14,37	2,40E-04	0,47	60000	40000	50000	20000	26	16	4,33E-07	8,60E-06	1,07E-08	9,11E-07	2,10
4	8,33	17,5	15	14,24	2,37E-04	0,47	60000	40000	50000	20000	26	16	4,33E-07	8,60E-06	1,07E-08	9,11E-07	2,10
5	8,34	17,7	15	14,42	2,40E-04	0,48	60000	40000	50000	20000	24	14	4,00E-07	8,60E-06	1,07E-08	9,12E-07	2,28
6	8,35	18,1	15	14,81	2,47E-04	0,49	60000	40000	50000	20000	22	13	3,67E-07	8,60E-06	1,07E-08	9,13E-07	2,49
7	8,35	18,2	20	27,21	4,54E-04	0,90	60000	40000	50000	20000	24	14	4,00E-07	8,60E-06	1,07E-08	9,57E-07	2,39
8	8,36	18,4	25	38,69	6,45E-04	1,27	70000	30000	50000	40000	26	16	4,33E-07	8,60E-06	1,07E-08	1,14E-06	2,62
9	8,36	18,6	30	47,77	7,96E-04	1,57	70000	30000	50000	40000	34	20	5,67E-07	8,60E-06	1,07E-08	1,20E-06	2,12
10	8,36	18,8	35	55,43	9,24E-04	1,83	80000	20000	50000	60000	44	26	7,33E-07	8,60E-06	1,07E-08	1,45E-06	1,98
11	8,36	18,8	40	62,76	1,05E-03	2,07	80000	20000	50000	60000	62	37	1,03E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,53E-06	1,48
12	8,37	19	45	65,36	1,09E-03	2,15	90000	10000	50000	80000	80	48	1,33E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,79E-06	1,34
13	8,38	19	50	70,65	1,18E-03	2,33	100000	0	50000	100000	90	54	1,50E-06	8,60E-06	1,07E-08	2,12E-06	1,41
14	8,38	19,1	15	13,43	2,24E-04	0,44	60000	40000	50000	20000	68	41	1,13E-06	8,60E-06	1,07E-08	9,09E-07	0,80
15	8,41	19,4	15	15,32	2,55E-04	0,50	60000	40000	50000	20000	30	18	5,00E-07	8,60E-06	1,07E-08	9,15E-07	1,83
16	8,41	19,5	15	14,53	2,42E-04	0,48	60000	40000	50000	20000	26	16	4,33E-07	8,60E-06	1,07E-08	9,12E-07	2,10
17	8,44	19,4	15	14,60	2,43E-04	0,48	60000	40000	50000	20000	24	14	4,00E-07	8,60E-06	1,07E-08	9,12E-07	2,28
18	8,44	19,7	50	66,05	1,10E-03	2,18	100000	0	50000	100000	90	54	1,50E-06	8,60E-06	1,07E-08	2,04E-06	1,36
19	8,45	19,3	15	14,32	2,39E-04	0,47	60000	40000	50000	20000	70	42	1,17E-06	8,60E-06	1,07E-08	9,12E-07	0,78
20	8,45	19,5	15	14,40	2,40E-04	0,47	60000	40000	50000	20000	44	26	7,33E-07	8,60E-06	1,07E-08	9,12E-07	1,24
21	8,5	17	15	14,60	2,43E-04	0,48	60000	40000	50000	20000	34	20	5,67E-07	8,60E-06	1,07E-08	9,12E-07	1,61
22	8,5	18,8	15	14,49	2,41E-04	0,48	60000	40000	50000	20000	30	18	5,00E-07	8,60E-06	1,07E-08	9,12E-07	1,82
23	8,5	18,6	15	14,97	2,50E-04	0,49	60000	40000	50000	20000	26	16	4,33E-07	8,60E-06	1,07E-08	9,14E-07	2,11
24	8,51	18,6	15	15,17	2,53E-04	0,50	60000	40000	50000	20000	24	14	4,00E-07	8,60E-06	1,07E-08	9,14E-07	2,29
25	8,52	18,7	50	66,38	1,11E-03	2,19	100000	0	50000	100000	76	46	1,27E-06	8,60E-06	1,07E-08	2,04E-06	1,61
26	8,52	17,5	50	67,42	1,12E-03	2,22	100000	0	50000	100000	88	53	1,47E-06	8,60E-06	1,07E-08	2,06E-06	1,41
27	8,52	17,5	50	67,46	1,12E-03	2,22	100000	0	50000	100000	96	58	1,60E-06	8,60E-06	1,07E-08	2,06E-06	1,29
28	8,52	17,5	50	68,32	1,14E-03	2,25	100000	0	50000	100000	96	58	1,60E-06	8,60E-06	1,07E-08	2,08E-06	1,30
29	8,52	18	50	67,54	1,13E-03	2,22	100000	0	50000	100000	98	59	1,63E-06	8,60E-06	1,07E-08	2,07E-06	1,26
30	8,52	18,1	50	67,14	1,12E-03	2,21	100000	0	50000	100000	100	60	1,67E-06	8,60E-06	1,07E-08	2,06E-06	1,23

31	8,52	19,7	15	14,30	2,38E-04	0,47	60000	40000	50000	20000	74	44	1,23E-06	8,60E-06	1,07E-08	9,12E-07	0,74
32	8,55	21	15	15,22	2,54E-04	0,50	60000	40000	50000	20000	46	28	7,67E-07	8,60E-06	1,07E-08	9,15E-07	1,19
33	8,52	20,3	15	15,32	2,55E-04	0,50	60000	40000	50000	20000	34	20	5,67E-07	8,60E-06	1,07E-08	9,15E-07	1,61
34	8,53	20	15	15,39	2,56E-04	0,51	60000	40000	50000	20000	28	17	4,67E-07	8,60E-06	1,07E-08	9,15E-07	1,96
35	8,59	18,7	15	15,32	2,55E-04	0,50	60000	40000	50000	20000	24	14	4,00E-07	8,60E-06	1,07E-08	9,15E-07	2,29
36	8,59	16	50	68,15	1,14E-03	2,24	100000	0	50000	100000	68	41	1,13E-06	8,60E-06	1,07E-08	2,08E-06	1,83
37	8,6	16	50	68,09	1,13E-03	2,24	100000	0	50000	100000	88	53	1,47E-06	8,60E-06	1,07E-08	2,07E-06	1,41
38	8,59	17,8	50	66,21	1,10E-03	2,18	100000	0	50000	100000	94	56	1,57E-06	8,60E-06	1,07E-08	2,04E-06	1,30
39	8,6	18,7	50	65,29	1,09E-03	2,15	100000	0	50000	100000	94	56	1,57E-06	8,60E-06	1,07E-08	2,03E-06	1,29
40	8,57	21	20	23,48	3,91E-04	0,77	60000	40000	50000	20000	60	36	1,00E-06	8,60E-06	1,07E-08	9,44E-07	0,94
41	8,59	18	20	23,24	3,87E-04	0,77	60000	40000	50000	20000	46	28	7,67E-07	8,60E-06	1,07E-08	9,43E-07	1,23
42	8,63	15,8	20	24,26	4,04E-04	0,80	60000	40000	50000	20000	32	19	5,33E-07	8,60E-06	1,07E-08	9,47E-07	1,78
43	8,63	17,3	20	24,23	4,04E-04	0,80	60000	40000	50000	20000	28	17	4,67E-07	8,60E-06	1,07E-08	9,47E-07	2,03
44	8,65	17,7	20	24,46	4,08E-04	0,81	60000	40000	50000	20000	26	16	4,33E-07	8,60E-06	1,07E-08	9,47E-07	2,19
45	8,62	21,2	50	60,28	1,00E-03	1,99	100000	0	50000	100000	130	78	2,17E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,94E-06	0,89
46	8,65	22,1	50	69,36	1,16E-03	2,28	100000	0	50000	100000	120	72	2,00E-06	8,60E-06	1,07E-08	2,10E-06	1,05
47	8,62	18,4	50	71,10	1,19E-03	2,34	100000	0	50000	100000	114	68	1,90E-06	8,60E-06	1,07E-08	2,13E-06	1,12
48	8,68	17,9	50	72,61	1,21E-03	2,39	100000	0	50000	100000	110	66	1,83E-06	8,60E-06	1,07E-08	2,16E-06	1,18
49	8,63	17,3	15	14,30	2,38E-04	0,47	60000	40000	50000	20000	62	37	1,03E-06	8,60E-06	1,07E-08	9,12E-07	0,88
50	8,64	19,4	20	26,33	4,39E-04	0,87	60000	40000	50000	20000	50	30	8,33E-07	8,60E-06	1,07E-08	9,54E-07	1,15
51	8,65	20,6	25	40,11	6,69E-04	1,32	70000	30000	50000	40000	50	30	8,33E-07	8,60E-06	1,07E-08	1,15E-06	1,38
52	8,64	18,1	30	50,30	8,38E-04	1,66	70000	30000	50000	40000	54	32	9,00E-07	8,60E-06	1,07E-08	1,22E-06	1,35
53	8,65	16,8	35	56,89	9,48E-04	1,87	80000	20000	50000	60000	60	36	1,00E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,47E-06	1,47
54	8,65	19,6	40	62,35	1,04E-03	2,05	80000	20000	50000	60000	76	46	1,27E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,53E-06	1,21
55	8,66	19,9	45	66,81	1,11E-03	2,20	90000	10000	50000	80000	90	54	1,50E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,81E-06	1,21
56	8,66	20	50	70,85	1,18E-03	2,33	100000	10000	55000	90000	100	60	1,67E-06	8,60E-06	1,07E-08	2,00E-06	1,20
57	8,64	20,7	20	23,42	3,90E-04	0,77	110000	90000	100000	20000	74	44	1,23E-06	8,60E-06	1,07E-08	9,45E-07	0,77

58	8,63	21	25	33,67	5,61E-04	1,11	110000	90000	100000	20000	64	38	1,07E-06	8,60E-06	1,07E-08	9,81E-07	0,92
59	8,63	21	30	54,80	9,13E-04	1,80	120000	80000	100000	40000	62	37	1,03E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,25E-06	1,21
60	8,65	22,2	35	55,04	9,17E-04	1,81	120000	80000	100000	40000	63	41	1,13E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,25E-06	1,11
61	8,65	22,7	40	63,30	1,06E-03	2,09	130000	70000	100000	60000	78	47	1,30E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,54E-06	1,18
62	8,66	21,9	45	67,34	1,12E-03	2,22	130000	70000	100000	60000	84	50	1,40E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,58E-06	1,13
63	8,66	19,7	50	73,04	1,22E-03	2,41	140000	60000	100000	80000	90	54	1,50E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,90E-06	1,27
64	8,67	19,3	55	72,70	1,21E-03	2,39	150000	50000	100000	100000	100	60	1,67E-06	8,60E-06	1,07E-08	2,16E-06	1,29
65	8,66	18,9	25	26,14	4,36E-04	0,86	160000	140000	150000	20000	64	38	1,07E-06	8,60E-06	1,07E-08	9,55E-07	0,90
66	8,68	20	30	36,34	6,06E-04	1,20	160000	140000	150000	20000	64	38	1,07E-06	8,60E-06	1,07E-08	9,91E-07	0,93
67	8,69	19,5	35	46,38	7,73E-04	1,53	160000	140000	150000	20000	64	38	1,07E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,03E-06	0,96
68	8,7	19,2	40	55,34	9,22E-04	1,82	180000	120000	150000	60000	64	38	1,07E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,45E-06	1,36
69	8,72	18,9	45	60,72	1,01E-03	2,00	180000	120000	150000	60000	68	41	1,13E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,51E-06	1,33
70	8,71	18,7	50	63,22	1,05E-03	2,08	190000	110000	150000	80000	82	49	1,37E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,76E-06	1,29
71	8,71	18,7	55	66,31	1,11E-03	2,18	190000	110000	150000	80000	78	47	1,30E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,81E-06	1,39
72	8,72	18,2	60	70,45	1,17E-03	2,32	200000	110000	155000	90000	84	50	1,40E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,99E-06	1,42
73	8,71	18,9	35	31,85	5,31E-04	1,05	210000	200000	205000	10000	76	46	1,27E-06	8,60E-06	1,07E-08	9,20E-07	0,73
74	8,72	18,9	40	41,25	6,88E-04	1,36	210000	190000	200000	20000	66	40	1,10E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,01E-06	0,92
75	8,72	18,8	45	49,55	8,26E-04	1,63	210000	190000	200000	20000	66	40	1,10E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,04E-06	0,94
76	8,73	18,8	50	55,25	9,21E-04	1,82	210000	190000	200000	20000	66	40	1,10E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,06E-06	0,96
77	8,83	19	55	61,68	1,03E-03	2,03	220000	180000	200000	40000	70	42	1,17E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,30E-06	1,12
78	8,75	19,2	60	65,47	1,09E-03	2,16	230000	170000	200000	60000	76	46	1,27E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,56E-06	1,23
79	8,74	19,5	40	33,16	5,53E-04	1,09	250000	240000	245000	10000	68	41	1,13E-06	8,60E-06	1,07E-08	9,22E-07	0,81
80	8,75	19,6	45	36,26	6,04E-04	1,19	250000	240000	245000	10000	64	38	1,07E-06	8,60E-06	1,07E-08	9,27E-07	0,87
81	8,76	19,7	50	42,21	7,04E-04	1,39	260000	240000	250000	20000	62	37	1,03E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,01E-06	0,98
82	8,76	20,1	55	47,41	7,90E-04	1,56	270000	230000	250000	40000	60	36	1,00E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,20E-06	1,20
83	8,76	20	60	55,30	9,22E-04	1,82	270000	220000	245000	50000	64	38	1,07E-06	8,60E-06	1,07E-08	1,36E-06	1,27

Essai

Date: 12 sept. '01

Effluent F

UF - FLR

K/Qw

Variation Qv, U, etc

Calibration

T (°C)

Qv (LPM)

P1/P2 (kPa)

Moteur

Qw (ml/min)

23

48

110/100

40

1800

pH	T° °C	Moteur	Qmoy (L/min)	Q (m³/s)	U (m/s)	P1 (Pa)	P2 (Pa)	ΔP (Pa)	ΔPf (Pa)	Qperm (mL/min)	Qperm (m³/s)	Jv (L m⁻² h⁻¹)	Kc	Kp	K	K/Qw (\$US/m³)
50 kPa																
8,68	23,5	15	18,29	3,05E-04	0,60	60000	40000	50000	20000	68	1,13E-06	40,8	8,60E-06	1,07E-08	9,26E-07	0,82
8,68	18,2	20	30,57	5,10E-04	1,01	60000	40000	50000	20000	54	9,00E-07	32,4	8,60E-06	1,07E-08	9,70E-07	1,08
8,68	17,8	25	43,12	7,19E-04	1,42	60000	40000	50000	20000	54	9,00E-07	32,4	8,60E-06	1,07E-08	1,01E-06	1,13
8,68	21,1	30	52,36	8,73E-04	1,72	70000	30000	50000	40000	60	1,00E-06	36	8,60E-06	1,07E-08	1,23E-06	1,23
8,65	21,7	35	59,39	9,90E-04	1,96	70000	30000	50000	40000	70	1,17E-06	42	8,60E-06	1,07E-08	1,28E-06	1,10
8,65	18	40	67,23	1,12E-03	2,21	80000	20000	50000	60000	78	1,30E-06	46,8	8,60E-06	1,07E-08	1,58E-06	1,22
8,68	16,4	45	74,23	1,24E-03	2,44	90000	10000	50000	80000	80	1,33E-06	48	8,60E-06	1,07E-08	1,92E-06	1,44
8,68	15,5	50	77,20	1,29E-03	2,54	100000	0	50000	100000	86	1,43E-06	51,6	8,60E-06	1,07E-08	2,24E-06	1,56
100 kPa																
8,69	20	20	28,69	4,78E-04	0,95	110000	100000	105000	10000	96	1,60E-06	57,6	8,60E-06	1,07E-08	9,13E-07	0,57
8,68	19,1	25	39,19	6,53E-04	1,29	110000	100000	105000	10000	60	1,00E-06	36	8,60E-06	1,07E-08	9,31E-07	0,93
8,62	18,6	30	51,41	8,57E-04	1,69	110000	90000	100000	20000	60	1,00E-06	36	8,60E-06	1,07E-08	1,04E-06	1,04
8,63	17,3	35	59,17	9,86E-04	1,95	120000	80000	100000	40000	66	1,10E-06	39,6	8,60E-06	1,07E-08	1,28E-06	1,17
8,65	16,7	40	66,18	1,10E-03	2,18	130000	80000	105000	50000	80	1,33E-06	48	8,60E-06	1,07E-08	1,45E-06	1,09
8,68	16,3	45	72,24	1,20E-03	2,38	130000	70000	100000	60000	84	1,40E-06	50,4	8,60E-06	1,07E-08	1,63E-06	1,17
8,67	17,1	50	79,00	1,32E-03	2,60	160000	70000	115000	90000	90	1,50E-06	54	8,60E-06	1,07E-08	2,13E-06	1,42
150 kPa																
8,68	18	25	38,71	6,45E-04	1,28	160000	140000	150000	20000	70	1,17E-06	42	8,60E-06	1,07E-08	1,00E-06	0,86
8,66	18,7	30	49,38	8,23E-04	1,63	160000	140000	150000	20000	64	1,07E-06	38,4	8,60E-06	1,07E-08	1,04E-06	0,97
8,61	18,7	35	58,55	9,76E-04	1,93	170000	140000	155000	30000	64	1,07E-06	38,4	8,60E-06	1,07E-08	1,18E-06	1,10
8,61	18,9	40	67,34	1,12E-03	2,22	180000	130000	155000	50000	74	1,23E-06	44,4	8,60E-06	1,07E-08	1,46E-06	1,19
8,62	18,9	45	72,25	1,20E-03	2,38	180000	120000	150000	60000	78	1,30E-06	46,8	8,60E-06	1,07E-08	1,64E-06	1,26
8,63	19,9	50	76,95	1,28E-03	2,53	210000	120000	165000	90000	84	1,40E-06	50,4	8,60E-06	1,07E-08	2,10E-06	1,50

Essai										Calibration						
Date: 18 sept. '01										T (°C) 21,5						
Effluent I										Qv (LPM) 50						
UF - Lisier tamisé										P1/P2 (kPa) 100/70						
K/Qw										Moteur 40						
Variation Qv, U, etc										Qw (ml/min) 1140						
pH	T°	Moteur	Qmoy	Q	U	P1	P2	ΔP	ΔPf	Qperm	Qperm	Jv	Kc	Kp	K	K/Qw
	°C		(L/min)	(m³/s)	(m/s)	(Pa)	(Pa)	(Pa)	(Pa)	(mL/min)	(m³/s)	(L m ⁻² h ⁻¹)				(\$US/m ³)
50 kPa																
6,9	19,7	15	20,59	3,43E-04	0,68	60000	40000	50000	20000	20	3,33E-07	12	8,60E-06	1,07E-08	9,34E-07	2,80
6,92	18,2	20	27,62	4,60E-04	0,91	60000	40000	50000	20000	16	2,67E-07	9,6	8,60E-06	1,07E-08	9,59E-07	3,59
6,93	18,4	25	41,44	6,91E-04	1,36	60000	40000	50000	20000	18	3,00E-07	10,8	8,60E-06	1,07E-08	1,01E-06	3,36
6,95	18,5	30	45,74	7,62E-04	1,51	60000	40000	50000	20000	28	4,67E-07	16,8	8,60E-06	1,07E-08	1,02E-06	2,19
6,97	18,7	35	48,86	8,14E-04	1,61	70000	30000	50000	40000	40	6,67E-07	24	8,60E-06	1,07E-08	1,21E-06	1,81
6,95	20	40	51,69	8,61E-04	1,70	70000	20000	45000	50000	52	8,67E-07	31,2	8,60E-06	1,07E-08	1,32E-06	1,52
6,94	20	45	55,07	9,18E-04	1,81	80000	30000	55000	50000	62	1,03E-06	37,2	8,60E-06	1,07E-08	1,35E-06	1,31
6,94	20,1	50	57,30	9,55E-04	1,89	80000	20000	50000	60000	68	1,13E-06	40,8	8,60E-06	1,07E-08	1,47E-06	1,30
100 kPa																
6,97	21,1	15	18,32	3,05E-04	0,60	110000	100000	105000	10000	21	3,50E-07	12,6	8,60E-06	1,07E-08	8,93E-07	2,55
7,04	22,1	20	26,99	4,50E-04	0,89	110000	90000	100000	20000	20	3,33E-07	12	8,60E-06	1,07E-08	9,57E-07	2,87
7,08	23,2	25	41,51	6,92E-04	1,37	110000	90000	100000	20000	22	3,67E-07	13,2	8,60E-06	1,07E-08	1,01E-06	2,75
7,13	25,4	30	53,38	8,90E-04	1,76	110000	90000	100000	20000	30	5,00E-07	18	8,60E-06	1,07E-08	1,05E-06	2,10
7,15	25,7	35	61,35	1,02E-03	2,02	120000	80000	100000	40000	36	6,00E-07	21,6	8,60E-06	1,07E-08	1,30E-06	2,16
7,22	19,2	40	71,63	1,19E-03	2,36	120000	80000	100000	40000	40	6,67E-07	24	8,60E-06	1,07E-08	1,37E-06	2,06
7,23	19,7	45	77,24	1,29E-03	2,54	120000	80000	100000	40000	46	7,67E-07	27,6	8,60E-06	1,07E-08	1,41E-06	1,84
7,24	21,1	50	81,33	1,36E-03	2,68	130000	70000	100000	60000	54	9,00E-07	32,4	8,60E-06	1,07E-08	1,73E-06	1,92
150 kPa																
7,26	18,9	20	27,28	4,55E-04	0,90	160000	140000	150000	20000	26	4,33E-07	15,6	8,60E-06	1,07E-08	9,58E-07	2,21
7,31	23	25	38,14	6,36E-04	1,26	160000	140000	150000	20000	24	4,00E-07	14,4	8,60E-06	1,07E-08	9,97E-07	2,49
7,38	23,2	30	51,32	8,55E-04	1,69	170000	130000	150000	40000	26	4,33E-07	15,6	8,60E-06	1,07E-08	1,23E-06	2,83
7,42	22	35	61,05	1,02E-03	2,01	170000	130000	150000	40000	30	5,00E-07	18	8,60E-06	1,07E-08	1,30E-06	2,59
7,46	20,7	40	69,62	1,16E-03	2,29	170000	130000	150000	40000	34	5,67E-07	20,4	8,60E-06	1,07E-08	1,36E-06	2,40
7,49	19,9	45	77,35	1,29E-03	2,55	180000	120000	150000	60000	36	6,00E-07	21,6	8,60E-06	1,07E-08	1,69E-06	2,81
7,54	19,4	50	81,58	1,36E-03	2,69	180000	120000	150000	60000	40	6,67E-07	24	8,60E-06	1,07E-08	1,73E-06	2,60

200 kPa																
7,53	16	25	36,75	6,12E-04	1,21	210000	190000	200000	20000	26	4,33E-07	15,6	8,60E-06	1,07E-08	9,92E-07	2,22
7,6	20,5	30	49,65	8,28E-04	1,64	210000	190000	200000	20000	28	4,67E-07	16,8	8,60E-06	1,07E-08	1,04E-06	2,22
7,65	21,2	35	58,58	9,76E-04	1,93	210000	190000	200000	20000	32	5,33E-07	19,2	8,60E-06	1,07E-08	1,07E-06	2,01
7,7	22,1	40	68,78	1,15E-03	2,27	220000	180000	200000	40000	40	6,67E-07	24	8,60E-06	1,07E-08	1,35E-06	2,03
7,74	22,7	45	73,79	1,23E-03	2,43	220000	180000	200000	40000	44	7,33E-07	26,4	8,60E-06	1,07E-08	1,39E-06	1,89
7,77	23,3	50	78,51	1,31E-03	2,59	230000	170000	200000	60000	46	7,67E-07	27,6	8,60E-06	1,07E-08	1,70E-06	2,22
250 kPa																
7,84	24,9	30	46,94	7,82E-04	1,55	260000	240000	250000	20000	32	5,33E-07	19,2	8,60E-06	1,07E-08	1,03E-06	1,93
7,89	22,3	35	56,59	9,43E-04	1,86	260000	240000	250000	20000	30	5,00E-07	18	8,60E-06	1,07E-08	1,06E-06	2,13
7,94	21,4	40	66,66	1,11E-03	2,20	270000	230000	250000	40000	34	5,67E-07	20,4	8,60E-06	1,07E-08	1,34E-06	2,36
7,98	21	45	72,23	1,20E-03	2,38	280000	220000	250000	60000	40	6,67E-07	24	8,60E-06	1,07E-08	1,63E-06	2,45
8,01	20,9	50	76,71	1,28E-03	2,53	280000	220000	250000	60000	44	7,33E-07	26,4	8,60E-06	1,07E-08	1,68E-06	2,29
300 kPa																
8,04	20,7	30	45,83	7,64E-04	1,51	310000	290000	300000	20000	30	5,00E-07	18	8,60E-06	1,07E-08	1,03E-06	2,05
8,06	20,5	35	52,78	8,80E-04	1,74	310000	290000	300000	20000	30	5,00E-07	18	8,60E-06	1,07E-08	1,05E-06	2,10
8,08	20,2	40	62,63	1,04E-03	2,06	320000	280000	300000	40000	34	5,67E-07	20,4	8,60E-06	1,07E-08	1,31E-06	2,31
8,1	20,4	45	68,30	1,14E-03	2,25	320000	280000	300000	40000	40	6,67E-07	24	8,60E-06	1,07E-08	1,35E-06	2,02
8,1	20,7	50	71,60	1,19E-03	2,36	320000	280000	300000	40000	44	7,33E-07	26,4	8,60E-06	1,07E-08	1,37E-06	1,87
500 kPa																
8,12	21,1	15	18,61	3,10E-04	0,61	60000	40000	50000	20000	16	2,67E-07	9,6	8,60E-06	1,07E-08	9,27E-07	3,47
8,13	20,6	20	30,92	5,15E-04	1,02	60000	40000	50000	20000	16	2,67E-07	9,6	8,60E-06	1,07E-08	9,70E-07	3,64
8,13	20	25	43,46	7,24E-04	1,43	60000	40000	50000	20000	18	3,00E-07	10,8	8,60E-06	1,07E-08	1,02E-06	3,38
8,14	20	30	54,90	9,15E-04	1,81	60000	30000	45000	30000	28	4,67E-07	16,8	8,60E-06	1,07E-08	1,15E-06	2,47
8,13	19,9	35	64,08	1,07E-03	2,11	70000	30000	50000	40000	30	5,00E-07	18	8,60E-06	1,07E-08	1,32E-06	2,63
8,13	19,1	40	72,35	1,21E-03	2,38	80000	20000	50000	60000	32	5,33E-07	19,2	8,60E-06	1,07E-08	1,63E-06	3,06
8,13	16,1	45	79,25	1,32E-03	2,61	80000	20000	50000	60000	36	6,00E-07	21,6	8,60E-06	1,07E-08	1,71E-06	2,85
8,13	16,2	50	85,60	1,43E-03	2,82	80000	20000	50000	60000	40	6,67E-07	24	8,60E-06	1,07E-08	1,78E-06	2,66

Essai

Date: 19 sept. '01
Effluent I
UF - Lisiér tamisé
K/Qw
Variation Qv, U, etc

Calibration

T (°C)	22
Qv (LPM)	45
P1/P2 (kPa)	100/80
Moteur	40
Qw (ml/min)	1460

NOTE: Le lisiér utilisé dans cette expérience a été récupéré de la fin de l'expérience du 18 sept'01.
Mais aucune modification des concentration n'a été effectuée

pH	T°	Moteur	Qmoy	Q	U	P1	P2	ΔP	ΔPf	Qperm	Qperm	Jv	Kc	Kp	K	K/Qw
	°C		(L/min)	(m³/s)	(m/s)	(Pa)	(Pa)	(Pa)	(Pa)	(mL/min)	(m³/s)	(L m⁻² h⁻¹)				(\$US/m³)
50 kPa																
7,75	22	15	19,45	3,24E-04	0,64	60000	40000	50000	20000	24	4,00E-07	14,4	8,60E-06	1,07E-08	9,30E-07	2,32
7,76	22,5	20	30,45	5,08E-04	1,00	60000	40000	50000	20000	18	3,00E-07	10,8	8,60E-06	1,07E-08	9,69E-07	3,23
7,77	22,7	25	43,64	7,27E-04	1,44	60000	40000	50000	20000	22	3,67E-07	13,2	8,60E-06	1,07E-08	1,02E-06	2,77
7,77	23,1	30	45,38	7,56E-04	1,49	60000	40000	50000	20000	30	5,00E-07	18	8,60E-06	1,07E-08	1,02E-06	2,04
7,77	19,5	35	55,71	9,29E-04	1,83	70000	30000	50000	40000	40	6,67E-07	24	8,60E-06	1,07E-08	1,26E-06	1,89
7,79	21,5	40	54,26	9,04E-04	1,79	80000	20000	50000	60000	50	8,33E-07	30	8,60E-06	1,07E-08	1,44E-06	1,73
7,78	20	45	58,23	9,70E-04	1,92	80000	20000	50000	60000	60	1,00E-06	36	8,60E-06	1,07E-08	1,48E-06	1,48
7,79	21	50	57,78	9,63E-04	1,90	90000	10000	50000	80000	70	1,17E-06	42	8,60E-06	1,07E-08	1,68E-06	1,44
300 kPa																
7,8	24,5	25	36,13	6,02E-04	1,19	310000	290000	300000	20000	34	5,67E-07	20,4	8,60E-06	1,07E-08	9,91E-07	1,75
7,89	24,5	30	44,40	7,40E-04	1,46	310000	290000	300000	20000	30	5,00E-07	18	8,60E-06	1,07E-08	1,02E-06	2,04
7,89	23,5	35	53,28	8,88E-04	1,76	310000	290000	300000	20000	32	5,33E-07	19,2	8,60E-06	1,07E-08	1,05E-06	1,97
8	23	40	63,67	1,06E-03	2,10	320000	280000	300000	40000	36	6,00E-07	21,6	8,60E-06	1,07E-08	1,32E-06	2,19
8,04	22,5	45	70,25	1,17E-03	2,31	320000	280000	300000	40000	40	6,67E-07	24	8,60E-06	1,07E-08	1,36E-06	2,04
8,07	22,5	50	74,24	1,24E-03	2,45	320000	280000	300000	40000	42	7,00E-07	25,2	8,60E-06	1,07E-08	1,39E-06	1,99
250 kPa																
8,1	22,3	25	35,09	5,85E-04	1,16	260000	240000	250000	20000	28	4,67E-07	16,8	8,60E-06	1,07E-08	9,86E-07	2,11
8,13	21,8	30	46,64	7,77E-04	1,54	260000	240000	250000	20000	28	4,67E-07	16,8	8,60E-06	1,07E-08	1,03E-06	2,20
8,15	21,4	35	57,47	9,58E-04	1,89	270000	230000	250000	40000	30	5,00E-07	18	8,60E-06	1,07E-08	1,27E-06	2,54
8,17	21,2	40	65,52	1,09E-03	2,16	270000	230000	250000	40000	36	6,00E-07	21,6	8,60E-06	1,07E-08	1,33E-06	2,21
8,18	21,2	45	72,52	1,21E-03	2,39	270000	230000	250000	40000	40	6,67E-07	24	8,60E-06	1,07E-08	1,38E-06	2,07
8,19	21,5	50	77,39	1,29E-03	2,55	280000	220000	250000	60000	42	7,00E-07	25,2	8,60E-06	1,07E-08	1,69E-06	2,41

200 kPa																
8,19	21,5	25	38,56	6,43E-04	1,27	210000	190000	200000	20000	28	4,67E-07	16,8	8,60E-06	1,07E-08	9,99E-07	2,14
8,21	21,1	30	50,08	8,35E-04	1,65	210000	190000	200000	20000	28	4,67E-07	16,8	8,60E-06	1,07E-08	1,04E-06	2,23
8,23	20,5	35	59,37	9,90E-04	1,96	210000	180000	195000	30000	32	5,33E-07	19,2	8,60E-06	1,07E-08	1,18E-06	2,21
8,24	20,1	40	69,09	1,15E-03	2,28	220000	180000	200000	40000	36	6,00E-07	21,6	8,60E-06	1,07E-08	1,35E-06	2,26
8,25	20,3	45	74,86	1,25E-03	2,47	220000	180000	200000	40000	38	6,33E-07	22,8	8,60E-06	1,07E-08	1,40E-06	2,20
8,25	20,5	50	79,45	1,32E-03	2,62	220000	180000	200000	40000	40	6,67E-07	24	8,60E-06	1,07E-08	1,43E-06	2,14
150 kPa																
8,25	20	20	28,04	4,67E-04	0,92	160000	140000	150000	20000	24	4,00E-07	14,4	8,60E-06	1,07E-08	9,61E-07	2,40
8,26	25	25	36,26	6,04E-04	1,19	160000	140000	150000	20000	20	3,33E-07	12	8,60E-06	1,07E-08	9,90E-07	2,97
8,28	30	30	51,66	8,61E-04	1,70	170000	130000	150000	40000	22	3,67E-07	13,2	8,60E-06	1,07E-08	1,23E-06	3,35
8,29	35	35	61,65	1,03E-03	2,03	170000	130000	150000	40000	30	5,00E-07	18	8,60E-06	1,07E-08	1,30E-06	2,60
8,29	40	40	72,58	1,21E-03	2,39	170000	130000	150000	40000	32	5,33E-07	19,2	8,60E-06	1,07E-08	1,38E-06	2,58
8,29	45	45	79,79	1,33E-03	2,63	180000	120000	150000	60000	36	6,00E-07	21,6	8,60E-06	1,07E-08	1,71E-06	2,86
8,28	50	50	84,89	1,41E-03	2,80	180000	120000	150000	60000	40	6,67E-07	24	8,60E-06	1,07E-08	1,77E-06	2,65
100 kPa																
8,28	19,9	20	30,17	5,03E-04	0,99	110000	90000	100000	20000	22	3,67E-07	13,2	8,60E-06	1,07E-08	9,68E-07	2,64
8,28	19,7	25	41,75	6,96E-04	1,38	110000	90000	100000	20000	22	3,67E-07	13,2	8,60E-06	1,07E-08	1,01E-06	2,75
8,28	19,4	30	52,81	8,80E-04	1,74	110000	90000	100000	20000	26	4,33E-07	15,6	8,60E-06	1,07E-08	1,05E-06	2,42
8,28	19,4	35	64,39	1,07E-03	2,12	120000	80000	100000	40000	32	5,33E-07	19,2	8,60E-06	1,07E-08	1,32E-06	2,47
8,28	19,6	40	73,40	1,22E-03	2,42	120000	80000	100000	40000	34	5,67E-07	20,4	8,60E-06	1,07E-08	1,38E-06	2,44
8,28	19,9	45	79,39	1,32E-03	2,61	120000	80000	100000	40000	36	6,00E-07	21,6	8,60E-06	1,07E-08	1,43E-06	2,38
8,26	20,4	50	84,47	1,41E-03	2,78	130000	70000	100000	60000	40	6,67E-07	24	8,60E-06	1,07E-08	1,76E-06	2,65
50b kPa																
8,25	20,7	15	18,01	3,00E-04	0,59	60000	40000	50000	20000	18	3,00E-07	10,8	8,60E-06	1,07E-08	9,24E-07	3,08
8,26	20,5	20	32,41	5,40E-04	1,07	60000	40000	50000	20000	16	2,67E-07	9,6	8,60E-06	1,07E-08	9,76E-07	3,66
8,26	20,2	25	44,49	7,42E-04	1,47	60000	40000	50000	20000	20	3,33E-07	12	8,60E-06	1,07E-08	1,02E-06	3,06
8,27	20,1	30	55,22	9,20E-04	1,82	60000	40000	50000	20000	26	4,33E-07	15,6	8,60E-06	1,07E-08	1,06E-06	2,44
8,27	20,2	35	66,47	1,11E-03	2,19	70000	30000	50000	40000	30	5,00E-07	18	8,60E-06	1,07E-08	1,33E-06	2,67
8,26	20,4	40	73,27	1,22E-03	2,41	70000	30000	50000	40000	32	5,33E-07	19,2	8,60E-06	1,07E-08	1,38E-06	2,59
8,25	20	45	81,40	1,36E-03	2,68	80000	20000	50000	60000	40	6,67E-07	24	8,60E-06	1,07E-08	1,73E-06	2,60
8,24	19,1	50	86,10	1,43E-03	2,84	90000	10000	50000	80000	44	7,33E-07	26,4	8,60E-06	1,07E-08	2,09E-06	2,85

Essai										Calibration						
Date: 21 sept. '00										T (°C) 22,1						
Effluent F										Qv (LPM) 45						
UF - FLR										P1/P2 (kPa) 110/100						
K/Qw										Moteur 30						
Variation Qv, U, etc										Qw (ml/min) 1440						
NOTE:																
pH	T°	Moteur	Qmoy	Q	U	P1	P2	ΔP	ΔPf	Qperm	Qperm	Jv	Kc	Kp	K	K/Qw
	°C		(L/min)	(m ³ /s)	(m/s)	(Pa)	(Pa)	(Pa)	(Pa)	(mL/min)	(m ³ /s)	(L m ⁻² h ⁻¹)				(\$US/m ³)
50 kPa																
8,11	17,4	15	17,06	2,84E-04	0,56	60000	40000	50000	20000	36	6,00E-07	21,6	8,60E-06	1,07E-08	9,21E-07	1,54
8,12	17,5	20	28,55	4,76E-04	0,94	60000	40000	50000	20000	34	5,67E-07	20,4	8,60E-06	1,07E-08	9,62E-07	1,70
8,12	17,9	25	41,98	7,00E-04	1,38	60000	40000	50000	20000	36	6,00E-07	21,6	8,60E-06	1,07E-08	1,01E-06	1,68
8,13	18,2	30	50,88	8,48E-04	1,68	70000	30000	50000	40000	48	8,00E-07	28,8	8,60E-06	1,07E-08	1,22E-06	1,53
8,14	18,7	35	60,64	1,01E-03	2,00	80000	20000	50000	60000	60	1,00E-06	36	8,60E-06	1,07E-08	1,51E-06	1,51
8,14	19,2	40	67,69	1,13E-03	2,23	80000	20000	50000	60000	80	1,33E-06	48	8,60E-06	1,07E-08	1,58E-06	1,19
8,14	19,8	45	74,20	1,24E-03	2,44	80000	20000	50000	60000	100	1,67E-06	60	8,60E-06	1,07E-08	1,65E-06	0,99
8,14	20,5	50	77,11	1,29E-03	2,54	80000	20000	50000	60000	114	1,90E-06	68,4	8,60E-06	1,07E-08	1,69E-06	0,89
50 kPa (2)																
8,15	21,2	15	15,79	2,63E-04	0,52	60000	40000	50000	20000	82	1,37E-06	49,2	8,60E-06	1,07E-08	9,17E-07	0,67
8,15	21,6	20	29,98	5,00E-04	0,99	60000	40000	50000	20000	60	1,00E-06	36	8,60E-06	1,07E-08	9,67E-07	0,97
8,16	22	25	40,74	6,79E-04	1,34	70000	30000	50000	40000	56	9,33E-07	33,6	8,60E-06	1,07E-08	1,15E-06	1,23
8,17	22,7	30	54,56	9,09E-04	1,80	70000	30000	50000	40000	62	1,03E-06	37,2	8,60E-06	1,07E-08	1,25E-06	1,21
8,17	22,7	35	61,48	1,02E-03	2,03	70000	30000	50000	40000	74	1,23E-06	44,4	8,60E-06	1,07E-08	1,30E-06	1,05
8,18	23,3	40	69,51	1,16E-03	2,29	80000	20000	50000	60000	90	1,50E-06	54	8,60E-06	1,07E-08	1,60E-06	1,07
8,19	21,4	45	75,46	1,26E-03	2,49	80000	20000	50000	60000	104	1,73E-06	62,4	8,60E-06	1,07E-08	1,67E-06	0,96
8,21	22	50	80,47	1,34E-03	2,65	90000	10000	50000	80000	120	2,00E-06	72	8,60E-06	1,07E-08	2,01E-06	1,00
50 kPa (3)																
8,21	22,8	15	16,79	2,80E-04	0,55	60000	40000	50000	20000	80	1,33E-06	48	8,60E-06	1,07E-08	9,21E-07	0,69
8,22	23,6	20	29,53	4,92E-04	0,97	60000	40000	50000	20000	64	1,07E-06	38,4	8,60E-06	1,07E-08	9,66E-07	0,91
8,23	23	25	42,38	7,06E-04	1,40	60000	40000	50000	20000	58	9,67E-07	34,8	8,60E-06	1,07E-08	1,01E-06	1,05
8,25	22,9	30	54,46	9,08E-04	1,79	70000	30000	50000	40000	64	1,07E-06	38,4	8,60E-06	1,07E-08	1,25E-06	1,17
8,27	22,1	35	61,74	1,03E-03	2,03	70000	30000	50000	40000	76	1,27E-06	45,6	8,60E-06	1,07E-08	1,30E-06	1,03
8,28	20,4	40	71,80	1,20E-03	2,36	80000	20000	50000	60000	90	1,50E-06	54	8,60E-06	1,07E-08	1,63E-06	1,09
8,29	19,4	45	77,05	1,28E-03	2,54	80000	20000	50000	60000	106	1,77E-06	63,6	8,60E-06	1,07E-08	1,69E-06	0,95
8,3	19	50	81,29	1,35E-03	2,68	90000	10000	50000	80000	120	2,00E-06	72	8,60E-06	1,07E-08	2,02E-06	1,01

Essai				Calibration												
Date: 1 oct. '01				T (°C)												
Effluent I				Qv (LPM)												
UF - Lisier tamisé				P1/P2 (kPa)												
K/Qw				Moteur												
Variation Qv, U, etc				Qw (ml/min)												
NOTE: Vitesses décroissantes et pressions croissantes																
pH	T° °C	Moteur	Qmoy (L/min)	Q (m³/s)	U (m/s)	P1 (Pa)	P2 (Pa)	ΔP (Pa)	ΔPf (Pa)	Qperm (mL/min)	Qperm (m³/s)	Jv (L m⁻² h⁻¹)	Kc	Kp	K	K/Qw (\$US/m³)
50 kPa																
6,89	15,5	50	45,79	7,63E-04	1,51	80000	20000	50000	60000	52	8,67E-07	31,2	8,60E-06	1,07E-08	1,35E-06	1,56
6,89	15,7	45	58,25	9,71E-04	1,92	80000	20000	50000	60000	50	8,33E-07	30	8,60E-06	1,07E-08	1,48E-06	1,78
6,9	17,5	40	55,11	9,19E-04	1,82	80000	20000	50000	60000	46	7,67E-07	27,6	8,60E-06	1,07E-08	1,45E-06	1,89
6,9	17,8	35	48,30	8,05E-04	1,59	70000	30000	50000	40000	40	6,67E-07	24	8,60E-06	1,07E-08	1,20E-06	1,81
6,89	18,7	30	47,38	7,90E-04	1,56	70000	30000	50000	40000	34	5,67E-07	20,4	8,60E-06	1,07E-08	1,20E-06	2,11
6,94	19,4	25	37,70	6,28E-04	1,24	60000	40000	50000	20000	28	4,67E-07	16,8	8,60E-06	1,07E-08	9,95E-07	2,13
6,98	19,7	20	28,61	4,77E-04	0,94	60000	40000	50000	20000	22	3,67E-07	13,2	8,60E-06	1,07E-08	9,62E-07	2,62
7,02	20,2	15	16,84	2,81E-04	0,55	60000	40000	50000	20000	18	3,00E-07	10,8	8,60E-06	1,07E-08	9,20E-07	3,07
100 kPa																
7,01	20,3	50	74,80	1,25E-03	2,46	120000	80000	100000	40000	68	1,13E-06	40,8	8,60E-06	1,07E-08	1,39E-06	1,23
7,07	22,5	45	73,29	1,22E-03	2,41	120000	80000	100000	40000	62	1,03E-06	37,2	8,60E-06	1,07E-08	1,38E-06	1,34
7,12	23,4	40	68,87	1,15E-03	2,27	120000	80000	100000	40000	56	9,33E-07	33,6	8,60E-06	1,07E-08	1,35E-06	1,45
7,13	23,3	35	59,37	9,90E-04	1,96	110000	90000	100000	20000	46	7,67E-07	27,6	8,60E-06	1,07E-08	1,07E-06	1,40
7,18	22,7	30	50,94	8,49E-04	1,68	110000	90000	100000	20000	40	6,67E-07	24	8,60E-06	1,07E-08	1,04E-06	1,56
7,23	21,8	25	39,27	6,55E-04	1,29	110000	90000	100000	20000	30	5,00E-07	18	8,60E-06	1,07E-08	1,00E-06	2,00
7,24	22	20	26,80	4,47E-04	0,88	110000	90000	100000	20000	22	3,67E-07	13,2	8,60E-06	1,07E-08	9,56E-07	2,61
150 kPa																
7,3	20,6	50	80,44	1,34E-03	2,65	180000	120000	150000	60000	56	9,33E-07	33,6	8,60E-06	1,07E-08	1,72E-06	1,85
7,36	22,7	45	76,43	1,27E-03	2,52	180000	120000	150000	60000	56	9,33E-07	33,6	8,60E-06	1,07E-08	1,68E-06	1,80
7,38	22,1	40	69,36	1,16E-03	2,28	180000	120000	150000	60000	50	8,33E-07	30	8,60E-06	1,07E-08	1,60E-06	1,92
7,45	20,9	35	60,63	1,01E-03	2,00	160000	130000	145000	30000	44	7,33E-07	26,4	8,60E-06	1,07E-08	1,19E-06	1,62
7,48	20,4	30	48,71	8,12E-04	1,60	160000	140000	150000	20000	38	6,33E-07	22,8	8,60E-06	1,07E-08	1,03E-06	1,63
7,53	19,4	25	37,78	6,30E-04	1,24	160000	140000	150000	20000	28	4,67E-07	16,8	8,60E-06	1,07E-08	9,95E-07	2,13

200 kPa													
7,59	18,2	50	76,16	1,27E-03	2,51	220000	180000	200000	40000	52	8,67E-07	31,2	8,60E-06 1,07E-08 1,41E-06 1,62
7,62	19,6	45	74,44	1,24E-03	2,45	220000	180000	200000	40000	52	8,67E-07	31,2	8,60E-06 1,07E-08 1,39E-06 1,61
7,68	21,2	40	68,65	1,14E-03	2,26	220000	180000	200000	40000	50	8,33E-07	30	8,60E-06 1,07E-08 1,35E-06 1,62
7,69	21,9	35	49,86	8,31E-04	1,64	210000	190000	200000	20000	42	7,00E-07	25,2	8,60E-06 1,07E-08 1,04E-06 1,48
7,72	22,6	30	47,45	7,91E-04	1,56	210000	190000	200000	20000	38	6,33E-07	22,8	8,60E-06 1,07E-08 1,03E-06 1,63
7,76	23,2	25	34,82	5,80E-04	1,15	200000	190000	195000	10000	28	4,67E-07	16,8	8,60E-06 1,07E-08 9,23E-07 1,98
250 kPa													
7,82	22	50	77,89	1,30E-03	2,57	280000	220000	250000	60000	52	8,67E-07	31,2	8,60E-06 1,07E-08 1,70E-06 1,96
7,87	23,5	45	72,97	1,22E-03	2,40	280000	220000	250000	60000	52	8,67E-07	31,2	8,60E-06 1,07E-08 1,64E-06 1,90
8,9	22,7	40	66,15	1,10E-03	2,18	270000	230000	250000	40000	48	8,00E-07	28,8	8,60E-06 1,07E-08 1,33E-06 1,67
7,99	21	35	55,00	9,17E-04	1,81	270000	230000	250000	40000	40	6,67E-07	24	8,60E-06 1,07E-08 1,25E-06 1,88
8,03	20,6	30	46,43	7,74E-04	1,53	260000	240000	250000	20000	34	5,67E-07	20,4	8,60E-06 1,07E-08 1,03E-06 1,81
300 kPa													
8,07	19,6	50	74,26	1,24E-03	2,45	330000	270000	300000	60000	54	9,00E-07	32,4	8,60E-06 1,07E-08 1,68E-06 1,84
8,1	20,4	45	69,47	1,16E-03	2,29	320000	280000	300000	40000	52	8,67E-07	31,2	8,60E-06 1,07E-08 1,36E-06 1,57
8,11	20,4	40	63,72	1,06E-03	2,10	310000	280000	295000	30000	46	7,67E-07	27,6	8,60E-06 1,07E-08 1,20E-06 1,57
8,13	20,4	35	52,71	8,78E-04	1,74	310000	290000	300000	20000	40	6,67E-07	24	8,60E-06 1,07E-08 1,05E-06 1,58
8,17	20	30	42,15	7,03E-04	1,39	310000	290000	300000	20000	32	5,33E-07	19,2	8,60E-06 1,07E-08 1,01E-06 1,90
50 kPa (2)													
8,24	17	50	80,63	1,34E-03	2,66	90000	10000	50000	80000	40	6,67E-07	24	8,60E-06 1,07E-08 2,01E-06 3,02
8,25	16,5	45	78,88	1,31E-03	2,60	80000	20000	50000	60000	40	6,67E-07	24	8,60E-06 1,07E-08 1,70E-06 2,56
8,22	20,1	40	71,11	1,19E-03	2,34	80000	20000	50000	60000	42	7,00E-07	25,2	8,60E-06 1,07E-08 1,62E-06 2,32
8,17	21,4	35	43,40	7,23E-04	1,43	70000	30000	50600	40000	42	7,00E-07	25,2	8,60E-06 1,07E-08 1,17E-06 1,67
8,12	22,2	30	51,82	8,64E-04	1,71	60000	40000	50000	20000	36	6,00E-07	21,6	8,60E-06 1,07E-08 1,05E-06 1,74
8,18	21,6	25	40,86	6,81E-04	1,35	60000	40000	50000	20000	30	5,00E-07	18	8,60E-06 1,07E-08 1,01E-06 2,01
8,2	21,6	20	28,55	4,76E-04	0,94	60000	40000	50000	20000	22	3,67E-07	13,2	8,60E-06 1,07E-08 9,62E-07 2,62
8,21	21	15	17,42	2,90E-04	0,57	60000	40000	50000	20000	18	3,00E-07	10,8	8,60E-06 1,07E-08 9,22E-07 3,07

Essai

Date: 4 oct. '01
Effluent J
UF - Lisier tamisé
K/Qw
Variation Qv, U, etc

Calibration

T (°C) 22
Qv (LPM) 40
P1/P2 (kPa) 110/90
Moteur 30
Qw (ml/min) 1400

NOTE: Vitesses décroissantes et pressions croissantes

pH	T° °C	Moteur	Qmoy (L/min)	Q (m³/s)	U (m/s)	P1 (Pa)	P2 (Pa)	ΔP (Pa)	ΔPf (Pa)	Qperm (mL/min)	Qperm (m³/s)	Jv (L m⁻² h⁻¹)	Kc	Kp	K	K/Qw (\$/US/m³)
50 kPa																
6,84	20,8	15	18,46	3,08E-04	0,61	60000	40000	50000	20000	16	2,67E-07	9,6	8,60E-06	1,07E-08	9,26E-07	3,47
6,88	21,4	20	29,17	4,86E-04	0,96	60000	40000	50000	20000	16	2,67E-07	9,6	8,60E-06	1,07E-08	9,64E-07	3,62
6,89	21,8	25	41,21	6,87E-04	1,36	60000	40000	50000	20000	18	3,00E-07	10,8	8,60E-06	1,07E-08	1,01E-06	3,36
6,94	22	30	42,76	7,13E-04	1,41	60000	40000	50000	20000	28	4,67E-07	16,8	8,60E-06	1,07E-08	1,01E-06	2,17
6,91	22,5	35	50,41	8,40E-04	1,66	70000	30000	50000	40000	42	7,00E-07	25,2	8,60E-06	1,07E-08	1,22E-06	1,74
6,91	23,7	40	55,21	9,20E-04	1,82	70000	30000	50000	40000	54	9,00E-07	32,4	8,60E-06	1,07E-08	1,25E-06	1,39
6,9	23,8	45	56,78	9,46E-04	1,87	80000	20000	50000	60000	62	1,03E-06	37,2	8,60E-06	1,07E-08	1,47E-06	1,42
6,89	23,5	50	59,94	9,99E-04	1,97	80000	20000	50000	60000	70	1,17E-06	42	8,60E-06	1,07E-08	1,50E-06	1,29
50 kPa (2)																
6,88	23,4	15	17,82	2,97E-04	0,59	60000	40000	50000	20000	22	3,67E-07	13,2	8,60E-06	1,07E-08	9,24E-07	2,52
6,9	24,6	20	29,62	4,94E-04	0,98	60000	40000	50000	20000	18	3,00E-07	10,8	8,60E-06	1,07E-08	9,66E-07	3,22
6,89	24,3	25	40,26	6,71E-04	1,33	60000	40000	50000	20000	20	3,33E-07	12	8,60E-06	1,07E-08	1,00E-06	3,01
6,9	23,5	30	50,40	8,40E-04	1,66	60000	40000	50000	20000	26	4,33E-07	15,6	8,60E-06	1,07E-08	1,04E-06	2,40
6,9	22,5	35	61,72	1,03E-03	2,03	70000	30000	50000	40000	34	5,67E-07	20,4	8,60E-06	1,07E-08	1,30E-06	2,30
6,9	21,8	40	66,93	1,12E-03	2,20	70000	30000	50000	40000	40	6,67E-07	24	8,60E-06	1,07E-08	1,34E-06	2,01
6,91	20,5	45	72,90	1,22E-03	2,40	80000	20000	50000	60000	48	8,00E-07	28,8	8,60E-06	1,07E-08	1,64E-06	2,05
6,91	19,2	50	76,89	1,28E-03	2,53	80000	20000	50000	60000	59	9,83E-07	35,4	8,60E-06	1,07E-08	1,68E-06	1,71
100 kPa																
6,87	18,2	20	27,91	4,65E-04	0,92	100000	90000	95000	10000	28	4,67E-07	16,8	8,60E-06	1,07E-08	9,10E-07	1,95
6,87	19,9	25	39,97	6,66E-04	1,32	110000	90000	100000	20000	24	4,00E-07	14,4	8,60E-06	1,07E-08	1,00E-06	2,51
6,89	20,7	30	51,66	8,61E-04	1,70	110000	90000	100000	20000	26	4,33E-07	15,6	8,60E-06	1,07E-08	1,04E-06	2,41
6,9	21,04	35	62,41	1,04E-03	2,06	120000	90000	105000	30000	36	6,00E-07	21,6	8,60E-06	1,07E-08	1,19E-06	1,99
6,9	21,6	40	71,03	1,18E-03	2,34	120000	80000	100000	40000	44	7,33E-07	26,4	8,60E-06	1,07E-08	1,37E-06	1,86
6,9	21,4	45	77,30	1,29E-03	2,55	120000	80000	100000	40000	50	8,33E-07	30	8,60E-06	1,07E-08	1,41E-06	1,69
6,91	21,4	50	83,32	1,39E-03	2,74	120000	80000	100000	40000	58	9,67E-07	34,8	8,60E-06	1,07E-08	1,46E-06	1,51

100 kPa (2)									
6,91	21,5	20	30,47	5,08E-04	1,00	100000	90000	95000	10000
6,92	21,4	25	41,01	6,84E-04	1,35	100000	90000	95000	10000
6,93	21	30	52,65	8,78E-04	1,73	110000	90000	100000	20000
6,93	20,7	35	62,52	1,04E-03	2,06	110000	90000	100000	20000
6,95	20,7	40	71,65	1,19E-03	2,36	120000	80000	100000	40000
6,94	20,7	45	77,64	1,29E-03	2,56	120000	80000	100000	40000
6,95	20,8	50	83,03	1,38E-03	2,73	130000	70000	100000	60000
150 kPa									
6,88	21	20	28,27	4,71E-04	0,93	160000	140000	150000	20000
6,88	20,9	25	39,54	6,59E-04	1,30	160000	140000	150000	20000
6,88	20,8	30	51,49	8,58E-04	1,70	160000	140000	150000	20000
6,89	20,7	35	61,49	1,02E-03	2,03	170000	130000	150000	40000
6,92	20,9	40	71,12	1,19E-03	2,34	170000	130000	150000	40000
6,93	21,1	45	77,39	1,29E-03	2,55	170000	120000	145000	50000
6,95	21,5	50	82,69	1,38E-03	2,72	180000	120000	150000	60000
200 kPa									
6,96	22	25	37,62	6,27E-04	1,24	210000	190000	200000	20000
6,98	22	30	51,53	8,59E-04	1,70	210000	190000	200000	20000
7	22	35	59,20	9,87E-04	1,95	210000	190000	200000	20000
7,03	22,1	40	68,93	1,15E-03	2,27	220000	180000	200000	40000
7,06	22,4	45	75,64	1,26E-03	2,49	220000	180000	200000	40000
7,1	22,8	50	79,52	1,33E-03	2,62	220000	180000	200000	40000
250 kPa									
7,12	23,4	25	36,15	6,03E-04	1,19	260000	240000	250000	20000
7,1	23,2	30	47,08	7,85E-04	1,55	260000	240000	250000	20000
7,15	23,1	35	56,57	9,43E-04	1,86	260000	230000	245000	30000
7,17	23,1	40	67,78	1,13E-03	2,23	260000	230000	245000	30000
7,17	22,9	45	72,48	1,21E-03	2,39	280000	230000	255000	50000
7,19	22,6	50	77,69	1,29E-03	2,56	280000	220000	250000	60000
300 kPa									
7,19	22,6	30	44,65	7,44E-04	1,47	310000	290000	300000	20000
7,25	22,2	35	53,57	8,93E-04	1,76	310000	290000	300000	20000
7,28	22,2	40	63,17	1,05E-03	2,08	320000	280000	300000	40000
7,32	22,4	45	69,45	1,16E-03	2,29	320000	280000	300000	40000
7,36	22,8	50	73,13	1,22E-03	2,41	320000	280000	300000	40000
50 kPa (2)									
7,43	22,6	15	17,22	2,87E-04	0,57	60000	40000	50000	20000
7,42	22,7	20	30,49	5,08E-04	1,00	60000	40000	50000	20000
7,48	22,6	25	42,62	7,10E-04	1,40	60000	40000	50000	20000
7,38	22,6	30	55,35	9,23E-04	1,82	60000	30000	45000	30000
7,33	22,7	35	63,71	1,06E-03	2,10	70000	30000	50000	40000
7,34	22,8	40	74,60	1,24E-03	2,46	80000	20000	50000	60000
7,34	23	45	81,69	1,36E-03	2,69	80000	20000	50000	60000
7,33	23,2	50	86,72	1,45E-03	2,86	80000	20000	50000	60000

Essai		Calibration														
Date: 5 oct. '01		T (°C) 22,8														
Effluent J		Qv (LPM) 40														
UF - Lisier tamisé		P1/P2 (kPa) 110/90														
K/Qw		Moteur 30														
Variation Qv, U, etc		Qw (ml/min) 1700														
NOTE: Vitesses décroissantes et pressions croissantes																
DP croissant. U décroissant dans la plupart des cas																
pH	T°	Moteur	Qmoy	Q	U	P1	P2	ΔP	ΔPf	Qperm	Qperm	Jv	Kc	Kp	K	K/Qw
	°C		(L/min)	(m³/s)	(m/s)	(Pa)	(Pa)	(Pa)	(Pa)	(mL/min)	(m³/s)	(L m⁻² h⁻¹)				(\$/m³)
50 kPa																
8,04	22,9	15	18,39	3,07E-04	0,61	60000	40000	50000	20000	22	3,67E-07	13,2	8,60E-06	1,07E-08	9,26E-07	2,52
8,05	23,1	20	28,34	4,72E-04	0,93	60000	40000	50000	20000	20	3,33E-07	12	8,60E-06	1,07E-08	9,61E-07	2,88
8,05	23,3	25	41,34	6,89E-04	1,36	60000	40000	50000	20000	22	3,67E-07	13,2	8,60E-06	1,07E-08	1,01E-06	2,75
8,04	23,2	30	47,74	7,96E-04	1,57	70000	30000	50000	40000	30	5,00E-07	18	8,60E-06	1,07E-08	1,20E-06	2,40
8,04	22,6	35	54,76	9,13E-04	1,80	70000	30000	50000	40000	40	6,67E-07	24	8,60E-06	1,07E-08	1,25E-06	1,88
8,04	21,4	40	60,99	1,02E-03	2,01	70000	30000	50000	40000	45	7,50E-07	27	8,60E-06	1,07E-08	1,30E-06	1,73
8,05	19,4	45	61,42	1,02E-03	2,02	80000	20000	50000	60000	60	1,00E-06	36	8,60E-06	1,07E-08	1,52E-06	1,52
8,04	19,1	50	67,41	1,12E-03	2,22	80000	20000	50000	60000	66	1,10E-06	39,6	8,60E-06	1,07E-08	1,58E-06	1,44
50 kPa (2)																
8,04	19,4	50	70,68	1,18E-03	2,33	80000	20000	50000	60000	68	1,13E-06	40,8	8,60E-06	1,07E-08	1,62E-06	1,43
8,04	19,4	45	68,26	1,14E-03	2,25	80000	20000	50000	60000	64	1,07E-06	38,4	8,60E-06	1,07E-08	1,59E-06	1,49
8,04	19,3	40	59,64	9,94E-04	1,96	80000	20000	50000	60000	60	1,00E-06	36	8,60E-06	1,07E-08	1,50E-06	1,50
8,04	19,9	35	56,17	9,36E-04	1,85	70000	30000	50000	40000	56	9,33E-07	33,6	8,60E-06	1,07E-08	1,26E-06	1,35
8	22,7	30	52,66	8,78E-04	1,73	70000	30000	50000	40000	40	6,67E-07	24	8,60E-06	1,07E-08	1,24E-06	1,85
8	22,4	25	42,32	7,05E-04	1,39	60000	40000	50000	20000	32	5,33E-07	19,2	8,60E-06	1,07E-08	1,01E-06	1,90
8	22	20	29,27	4,88E-04	0,96	60000	40000	50000	20000	26	4,33E-07	15,6	8,60E-06	1,07E-08	9,65E-07	2,23
8	21,5	15	21,80	3,63E-04	0,72	60000	40000	50000	20000	18	3,00E-07	10,8	8,60E-06	1,07E-08	9,38E-07	3,13
100 kPa																
7,98	20,7	50	85,31	1,42E-03	2,81	130000	70000	100000	60000	74	1,23E-06	44,4	8,60E-06	1,07E-08	1,77E-06	1,44
7,98	21,2	45	78,45	1,31E-03	2,58	120000	80000	100000	40000	66	1,10E-06	39,6	8,60E-06	1,07E-08	1,42E-06	1,29
7,98	21,5	40	71,42	1,19E-03	2,35	120000	80000	100000	40000	58	9,67E-07	34,8	8,60E-06	1,07E-08	1,37E-06	1,42
7,98	21,5	35	48,36	8,06E-04	1,59	110000	90000	100000	20000	48	8,00E-07	28,8	8,60E-06	1,07E-08	1,03E-06	1,29
7,99	21,6	30	52,63	8,77E-04	1,73	110000	90000	100000	20000	40	6,67E-07	24	8,60E-06	1,07E-08	1,05E-06	1,57
7,99	21,4	25	38,56	6,43E-04	1,27	110000	90000	100000	20000	30	5,00E-07	18	8,60E-06	1,07E-08	9,98E-07	2,00
8,03	21,4	20	28,57	4,76E-04	0,94	110000	90000	100000	20000	26	4,33E-07	15,6	8,60E-06	1,07E-08	9,62E-07	2,22

150 kPa																
8,04	21	50	84,06	1,40E-03	2,77	180000	120000	150000	60000	58	9,67E-07	34,8	8,60E-06	1,07E-08	1,76E-06	1,81
8,05	21,9	45	78,31	1,31E-03	2,58	180000	120000	150000	60000	58	9,67E-07	34,8	8,60E-06	1,07E-08	1,70E-06	1,76
8,06	22,2	40	70,68	1,18E-03	2,33	170000	130000	150000	40000	54	9,00E-07	32,4	8,60E-06	1,07E-08	1,37E-06	1,52
8,08	22,4	35	60,44	1,01E-03	1,99	170000	130000	150000	40000	48	8,00E-07	28,8	8,60E-06	1,07E-08	1,29E-06	1,62
8,08	22,5	30	49,60	8,27E-04	1,63	160000	140000	150000	20000	40	6,87E-07	24	8,60E-06	1,07E-08	1,04E-06	1,56
8,1	22,4	25	37,06	6,18E-04	1,22	160000	140000	150000	20000	32	5,33E-07	19,2	8,60E-06	1,07E-08	9,93E-07	1,86
200 kPa																
8,11	22,3	50	81,34	1,36E-03	2,68	230000	180000	205000	50000	58	9,67E-07	34,8	8,60E-06	1,07E-08	1,59E-06	1,64
8,12	22,8	45	75,49	1,26E-03	2,49	230000	180000	205000	50000	60	1,00E-06	36	8,60E-06	1,07E-08	1,54E-06	1,54
8,12	23,3	40	68,31	1,14E-03	2,25	220000	190000	205000	30000	54	9,00E-07	32,4	8,60E-06	1,07E-08	1,23E-06	1,36
8,13	23,4	35	58,52	9,75E-04	1,93	210000	190000	200000	20000	46	7,67E-07	27,6	8,60E-06	1,07E-08	1,07E-06	1,40
8,16	22,8	30	48,26	8,04E-04	1,59	210000	190000	200000	20000	36	6,00E-07	21,6	8,60E-06	1,07E-08	1,03E-06	1,72
8,19	22,1	25	35,28	5,88E-04	1,16	210000	190000	200000	20000	28	4,67E-07	16,8	8,60E-06	1,07E-08	9,87E-07	2,11
250 kPa																
8,21	21,5	50	78,38	1,31E-03	2,58	280000	220000	250000	60000	50	8,33E-07	30	8,60E-06	1,07E-08	1,70E-06	2,04
8,22	22	45	72,74	1,21E-03	2,40	280000	220000	250000	60000	42	7,00E-07	25,2	8,60E-06	1,07E-08	1,64E-06	2,34
8,22	22,3	40	66,01	1,10E-03	2,17	270000	220000	245000	50000	50	8,33E-07	30	8,60E-06	1,07E-08	1,45E-06	1,74
8,23	22,6	35	55,53	9,26E-04	1,83	270000	230000	250000	40000	44	7,33E-07	26,4	8,60E-06	1,07E-08	1,26E-06	1,72
8,24	22,6	30	46,41	7,74E-04	1,53	270000	230000	250000	40000	38	6,33E-07	22,8	8,60E-06	1,07E-08	1,19E-06	1,88
8,25	22,5	25	33,55	5,59E-04	1,11	250000	220000	235000	30000	30	5,00E-07	18	8,60E-06	1,07E-08	1,04E-06	2,08
300 kPa																
8,26	22,3	50	74,79	1,25E-03	2,46	320000	280000	300000	40000	50	8,33E-07	30	8,60E-06	1,07E-08	1,40E-06	1,68
8,28	23,3	45	69,33	1,16E-03	2,28	320000	280000	300000	40000	52	8,67E-07	31,2	8,60E-06	1,07E-08	1,36E-06	1,57
8,27	23,3	40	64,22	1,07E-03	2,12	310000	290000	300000	20000	48	8,00E-07	28,8	8,60E-06	1,07E-08	1,09E-06	1,36
8,28	23,4	35	54,67	9,11E-04	1,80	310000	290000	300000	20000	44	7,33E-07	26,4	8,60E-06	1,07E-08	1,06E-06	1,44
8,29	23,3	30	47,44	7,91E-04	1,56	310000	290000	300000	20000	38	6,33E-07	22,8	8,60E-06	1,07E-08	1,03E-06	1,63
50 kPa (2)																
8,3	23	50	86,31	1,44E-03	2,84	90000	20000	55000	70000	38	6,33E-07	22,8	8,60E-06	1,07E-08	1,94E-06	3,06
8,29	22,6	45	82,07	1,37E-03	2,70	80000	20000	50000	60000	40	6,67E-07	24	8,60E-06	1,07E-08	1,74E-06	2,61
8,28	23,4	40	74,59	1,24E-03	2,46	70000	20000	45000	50000	40	6,67E-07	24	8,60E-06	1,07E-08	1,53E-06	2,29
8,28	23,5	35	64,77	1,08E-03	2,13	70000	30000	50000	40000	40	6,67E-07	24	8,60E-06	1,07E-08	1,32E-06	1,98
8,28	23,6	30	55,51	9,25E-04	1,83	60000	40000	50000	20000	38	6,33E-07	22,8	8,60E-06	1,07E-08	1,06E-06	1,67
8,28	23,4	25	41,76	6,96E-04	1,38	60000	40000	50000	20000	30	5,00E-07	18	8,60E-06	1,07E-08	1,01E-06	2,02
8,29	23,3	20	29,44	4,91E-04	0,97	60000	40000	50000	20000	24	4,00E-07	14,4	8,60E-06	1,07E-08	9,65E-07	2,41
8,29	22,9	15	17,73	2,96E-04	0,58	60000	40000	50000	20000	20	3,33E-07	12	8,60E-06	1,07E-08	9,23E-07	2,77

Essai																	
Date: 10 oct. '01																	
Effluent J																	
UF - Lisier tamisé																	
Concentration																	
Sert à voir relargage ou non de o-po4																	
en fct du temps de concentration																	
NOTE: Vitesses décroissantes et pressions croissantes																	
Calibration																	
T (°C) 22																	
Qv (LPM) 45																	
P1/P2 (kPa) 110/90																	
Moteur 30																	
Qw (ml/min) 1300																	
Temps (min)																	
Temps (min)	pH	T° °C	Moteur	Qmoy (L/min)	Q (m³/s)	U (m/s)	P1 (Pa)	P2 (Pa)	ΔP (Pa)	ΔPf (Pa)	Qperm (mL/min)	Qperm (m³/s)	Jv (L m ⁻² h ⁻¹)	Kc	Kp	K	K/Qw (\$US/m ⁻³)
0	8,51	25,5	45	77,27	1,29E-03	2,55	120000	80000	100000	40000	70	1,17E-06	42	8,60E-06	1,07E-08	1,41E-06	1,21
14	8,54	23,8	45	80,94	1,35E-03	2,67	120000	80000	100000	40000	72	1,20E-06	43,2	8,60E-06	1,07E-08	1,44E-06	1,20
30	8,56	23,6	45	81,54	1,36E-03	2,69	120000	80000	100000	40000	68	1,13E-06	40,8	8,60E-06	1,07E-08	1,44E-06	1,27
60	8,59	23,5	45	82,89	1,38E-03	2,73	120000	80000	100000	40000	64	1,07E-06	38,4	8,60E-06	1,07E-08	1,45E-06	1,36
90	8,55	23	45	80,99	1,35E-03	2,67	120000	80000	100000	40000	62	1,03E-06	37,2	8,60E-06	1,07E-08	1,44E-06	1,39
120	8,52	24,8	45	81,54	1,36E-03	2,69	120000	80000	100000	40000	64	1,07E-06	38,4	8,60E-06	1,07E-08	1,44E-06	1,35
150	8,59	26,5	45	81,80	1,36E-03	2,69	120000	80000	100000	40000	62	1,03E-06	37,2	8,60E-06	1,07E-08	1,44E-06	1,40
180	8,58	28,9	45	81,85	1,36E-03	2,70	120000	80000	100000	40000	64	1,07E-06	38,4	8,60E-06	1,07E-08	1,45E-06	1,35

Essai		Calibration									
Date: 17-18 oct. '01		T (°C) 22									
Effluent J		Qv (LPM) 40									
UF - Lisier tamisé (2oct01)		P1/P2 (kPa) 110/100									
K/Qw		Moteur 30									
Variation Qv, U, etc		Qw (ml/min) 1400									

NOTE: Vitesses décroissantes et pressions croissantes
BUT: déterminer l'arrêt du phosphore soluble en fonction de la concentration
DP croissant. U décroissant dans la plupart des cas

pH	T° (°C)	Moteur	Qmoy (L/min)	Q (m³/s)	U (m/s)	P1 (Pa)	P2 (Pa)	ΔP (Pa)	ΔPf (Pa)	Qperm (mL/min)	Qperm (m³/s)	Jv (L m² h⁻¹)	Kc	Kp	K	K/Qw (\$/m³)
50 kPa																
6,88	18,4	15	15,15	2,53E-04	0,50	60000	40000	50000	20000	22	3,67E-07	13,2	8,60E-06	1,07E-08	9,14E-07	2,49
6,87	18,5	20	26,56	4,43E-04	0,87	60000	40000	50000	20000	18	3,00E-07	10,8	8,60E-06	1,07E-08	9,55E-07	3,18
6,88	19,2	25	40,88	6,81E-04	1,35	60000	40000	50000	20000	20	3,33E-07	12	8,60E-06	1,07E-08	1,01E-06	3,02
6,88	19,2	30	49,19	8,20E-04	1,62	60000	40000	50000	20000	26	4,33E-07	15,6	8,60E-06	1,07E-08	1,04E-06	2,39
6,88	19,3	35	55,84	9,31E-04	1,84	70000	30000	50000	40000	34	5,67E-07	20,4	8,60E-06	1,07E-08	1,26E-06	2,22
6,88	19,4	40	59,59	9,93E-04	1,96	70000	30000	50000	40000	44	7,33E-07	26,4	8,60E-06	1,07E-08	1,29E-06	1,75
6,89	19,4	45	59,28	9,88E-04	1,95	80000	20000	50000	60000	52	8,67E-07	31,2	8,60E-06	1,07E-08	1,49E-06	1,72
6,89	19,4	50	59,64	9,94E-04	1,96	90000	10000	50000	80000	60	1,00E-06	36	8,60E-06	1,07E-08	1,71E-06	1,71
100 kPa																
7,01	22,2	20	26,1	4,35E-04	0,86	110000	90000	100000	20000	24	4,00E-07	14,4	8,60E-06	1,07E-08	9,54E-07	2,38
7,03	22,2	25	38,06	6,34E-04	1,25	110000	90000	100000	20000	22	3,67E-07	13,2	8,60E-06	1,07E-08	9,96E-07	2,72
7,04	22,4	30	47,23	7,87E-04	1,56	110000	90000	100000	20000	24	4,00E-07	14,4	8,60E-06	1,07E-08	1,03E-06	2,57
7,06	22,7	35	56,63	9,44E-04	1,87	110000	80000	95000	30000	34	5,67E-07	20,4	8,60E-06	1,07E-08	1,16E-06	2,05
7,07	22,9	40	62,48	1,04E-03	2,06	120000	80000	100000	40000	46	7,67E-07	27,6	8,60E-06	1,07E-08	1,31E-06	1,70
7,08	23,4	45	65,61	1,09E-03	2,16	120000	80000	100000	40000	54	9,00E-07	32,4	8,60E-06	1,07E-08	1,33E-06	1,48
7,09	23,8	50	71,6	1,19E-03	2,36	130000	70000	100000	60000	60	1,00E-06	36	8,60E-06	1,07E-08	1,63E-06	1,63
150 kPa																
7,37	24,9	25	40,33	6,72E-04	1,33	160000	140000	150000	20000	24	4,00E-07	14,4	8,60E-06	1,07E-08	1,00E-06	2,51
7,39	24,7	30	47,61	7,94E-04	1,57	160000	140000	150000	20000	26	4,33E-07	15,6	8,60E-06	1,07E-08	1,03E-06	2,38
7,42	24,5	35	58,43	9,74E-04	1,92	160000	140000	150000	20000	32	5,33E-07	19,2	8,60E-06	1,07E-08	1,07E-06	2,00
7,44	24,5	40	68,92	1,15E-03	2,27	170000	130000	150000	40000	38	6,33E-07	22,8	8,60E-06	1,07E-08	1,35E-06	2,14
7,46	24,7	45	75,46	1,26E-03	2,49	180000	120000	150000	60000	44	7,33E-07	26,4	8,60E-06	1,07E-08	1,67E-06	2,28
7,48	24,8	50	80,79	1,35E-03	2,66	180000	120000	150000	60000	50	8,33E-07	30	8,60E-06	1,07E-08	1,73E-06	2,07
200 kPa																
7,53	22,2	25	35,32	5,89E-04	1,16	210000	190000	200000	20000	24	4,00E-07	14,4	8,60E-06	1,07E-08	9,87E-07	2,47
7,61	22,5	30	47,23	7,87E-04	1,56	210000	190000	200000	20000	26	4,33E-07	15,6	8,60E-06	1,07E-08	1,03E-06	2,38
7,67	22,9	35	57,9	9,65E-04	1,91	220000	180000	200000	40000	30	5,00E-07	18	8,60E-06	1,07E-08	1,27E-06	2,55
7,72	23,4	40	66,64	1,11E-03	2,19	220000	180000	200000	40000	40	6,67E-07	24	8,60E-06	1,07E-08	1,34E-06	2,01
7,75	24	45	74,87	1,25E-03	2,47	220000	180000	200000	40000	46	7,67E-07	27,6	8,60E-06	1,07E-08	1,40E-06	1,82
7,78	24,7	50	78,85	1,31E-03	2,60	230000	180000	205000	50000	50	8,33E-07	30	8,60E-06	1,07E-08	1,56E-06	1,88

200 kPa									
7.82	23.7	25	36.54	6.09E-04	1.20	210000	190000	200000	20000
7.86	22	30	47.54	7.92E-04	1.57	210000	190000	200000	20000
7.92	20.7	35	58.34	9.72E-04	1.92	220000	180000	200000	40000
7.97	19.9	40	69.23	1.15E-03	2.28	220000	180000	200000	40000
7.99	20	45	77.26	1.29E-03	2.54	220000	180000	200000	40000
8	20.9	50	80.11	1.34E-03	2.64	230000	180000	205000	50000
250 kPa									
8.01	21.6	25	33.76	5.63E-04	1.11	260000	240000	250000	20000
8.05	22.1	30	45.81	7.64E-04	1.51	260000	240000	250000	20000
8.08	22.5	35	54.71	9.12E-04	1.80	260000	240000	250000	20000
8.09	23.1	40	66.75	1.11E-03	2.20	270000	230000	250000	40000
8.1	23.9	45	73.41	1.22E-03	2.42	270000	230000	250000	40000
8.1	24.7	50	77.93	1.30E-03	2.57	280000	220000	250000	60000
250 kPa									
8.15	23.4	25	35.73	5.96E-04	1.18	260000	240000	250000	20000
8.19	21.7	30	46.17	7.70E-04	1.52	260000	240000	250000	20000
8.24	20.1	35	55.51	9.25E-04	1.83	270000	230000	250000	40000
8.26	20	40	66.68	1.11E-03	2.20	270000	220000	245000	50000
8.26	21.5	45	73.75	1.23E-03	2.43	280000	220000	250000	60000
8.24	22.4	50	77.66	1.29E-03	2.56	280000	220000	250000	60000
300 kPa									
8.24	22.6	30	41.88	6.98E-04	1.38	310000	290000	300000	20000
8.24	23.1	35	52.02	8.67E-04	1.71	320000	290000	305000	30000
8.24	23.8	40	62.55	1.04E-03	2.06	320000	280000	300000	40000
8.24	24.5	45	69.19	1.15E-03	2.28	320000	280000	300000	40000
8.23	22.8	50	71.77	1.20E-03	2.36	320000	280000	300000	40000
300 kPa									
8.31	21.5	30	44.18	7.36E-04	1.46	310000	290000	300000	20000
8.35	20	35	53.18	8.86E-04	1.75	310000	290000	300000	20000
8.39	18.8	40	66.13	1.10E-03	2.18	320000	280000	300000	40000
8.39	19.5	45	70.54	1.18E-03	2.32	320000	280000	300000	40000
8.36	20.8	50	73.59	1.23E-03	2.42	320000	280000	300000	40000

19.2	8.60E-06	1.07E-08	9.91E-07	1.86
16.8	8.60E-06	1.07E-08	1.03E-06	2.21
19.2	8.60E-06	1.07E-08	1.28E-06	2.39
24	8.60E-06	1.07E-08	1.36E-06	2.03
26.4	8.60E-06	1.07E-08	1.41E-06	1.93
27.6	8.60E-06	1.07E-08	1.58E-06	2.06
14.4	8.60E-06	1.07E-08	9.81E-07	2.45
14.4	8.60E-06	1.07E-08	1.02E-06	2.56
18	8.60E-06	1.07E-08	1.06E-06	2.11
24	8.60E-06	1.07E-08	1.34E-06	2.01
27.6	8.60E-06	1.07E-08	1.39E-06	1.81
30	8.60E-06	1.07E-08	1.70E-06	2.04
19.2	8.60E-06	1.07E-08	9.89E-07	1.85
16.8	8.60E-06	1.07E-08	1.03E-06	2.20
18	8.60E-06	1.07E-08	1.26E-06	2.51
24	8.60E-06	1.07E-08	1.46E-06	2.18
27.6	8.60E-06	1.07E-08	1.65E-06	2.15
28.8	8.60E-06	1.07E-08	1.69E-06	2.12
14.4	8.60E-06	1.07E-08	1.01E-06	2.53
18	8.60E-06	1.07E-08	1.14E-06	2.28
21.6	8.60E-06	1.07E-08	1.31E-06	2.18
24	8.60E-06	1.07E-08	1.36E-06	2.03
25.2	8.60E-06	1.07E-08	1.37E-06	1.96
20.4	8.60E-06	1.07E-08	1.02E-06	1.80
19.2	8.60E-06	1.07E-08	1.05E-06	1.97
22.8	8.60E-06	1.07E-08	1.33E-06	2.11
24	8.60E-06	1.07E-08	1.37E-06	2.05
25.2	8.60E-06	1.07E-08	1.39E-06	1.98

Essai

Date: 23 oct. '01

Effluent J

UF - Lisier tamisé

K/Qw

Variation Qv, U, etc

Calibration

T (°C)

Qv (LPM)

P1/P2 (kPa)

Moteur

Qw (ml/min)

NOTE: Vitesses décroissantes et pressions croissantes

Temps (min)	pH	T° °C	Moteur	Qmoy (L/min)	Q (m³/s)	U (m/s)	P1 (Pa)	P2 (Pa)	ΔP (Pa)	ΔPf (Pa)	Qperm (mL/min)	Qperm (m³/s)	Jv (L m⁻² h⁻¹)	Kc	Kp	K	K/Qw (\$US/m³)
0	7,17	16,4	40	66,75	1,11E-03	2,20	120000	80000	100000	40000	44	7,33E-07	26,4	8,60E-06	1,07E-08	1,34E-06	1,82
15	7,22	21,3	40	68,40	1,14E-03	2,25	120000	80000	100000	40000	48	8,00E-07	28,8	8,60E-06	1,07E-08	1,35E-06	1,69
30	7,42	22,4	40	70,33	1,17E-03	2,32	120000	80000	100000	40000	46	7,67E-07	27,6	8,60E-06	1,07E-08	1,36E-06	1,78
60	7,6	22,2	40	71,25	1,19E-03	2,35	120000	80000	100000	40000	44	7,33E-07	26,4	8,60E-06	1,07E-08	1,37E-06	1,87
75	7,73	19,6	40	70,38	1,17E-03	2,32	120000	80000	100000	40000	44	7,33E-07	26,4	8,60E-06	1,07E-08	1,36E-06	1,86
100	7,88	21,1	40	70,78	1,18E-03	2,33	120000	80000	100000	40000	46	7,67E-07	27,6	8,60E-06	1,07E-08	1,37E-06	1,78
120	7,92	21,8	40	73,05	1,22E-03	2,41	120000	80000	100000	40000	46	7,67E-07	27,6	8,60E-06	1,07E-08	1,38E-06	1,80

Essai

Date: 24 oct. '01

Effluent J

UF - Lisier tamisé (2oct01)

K/Qw

Variation Qv, U, etc

Calibration

T (°C) 20,7

Qv (LPM) 40

P1/P2 (kPa) 110/90

Moteur 30

Qw (ml/min) 1600

NOTE: Vitesses décroissantes et pressions croissantes

Temps (min)	pH	T° °C	Moteur	Qmoy (L/min)	Q (m³/s)	U (m/s)	P1 (Pa)	P2 (Pa)	ΔP (Pa)	ΔPf (Pa)	Qperm (mL/min)	Qperm (m³/s)	Jv (L m⁻² h⁻¹)	Kc	Kp	K	K/Qw (\$US/m³)
0	7,81	22	20	27,27	4,55E-04	0,90	100000	90000	95000	10000	24	4,00E-07	14,4	8,60E-06	1,07E-08	9,09E-07	2,27
15	8,03	17	20	26,63	4,44E-04	0,88	100000	90000	95000	10000	12	2,00E-07	7,2	8,60E-06	1,07E-08	9,08E-07	4,54
30	8,04	17	20	26,49	4,41E-04	0,87	100000	80000	90000	20000	12	2,00E-07	7,2	8,60E-06	1,07E-08	9,55E-07	4,77
60	8,07	19,9	20	26,26	4,38E-04	0,87	100000	80000	90000	20000	12	2,00E-07	7,2	8,60E-06	1,07E-08	9,54E-07	4,77
90	8,11	23,4	20	22,19	3,70E-04	0,73	100000	80000	90000	20000	12	2,00E-07	7,2	8,60E-06	1,07E-08	9,39E-07	4,70
120	8,28	19,5	20	25,41	4,24E-04	0,84	100000	80000	90000	20000	12	2,00E-07	7,2	8,60E-06	1,07E-08	9,51E-07	4,75

Essai

Date: 25 oct. '01

Effluent J

UF - Lisier tamisé (2oct01)

K/Qw

Variation Qv, U, etc.

Calibration

T (°C) 19,8

Qv (LPM) 40

P1/P2 (kPa) 110/90

Moteur 30

Qw (ml/min) 1500

NOTE: Vitesses décroissantes et pressions croissantes

BUT: déterminer l'arrêt du phosphore soluble en fonction de la pression

DP croissant, U décroissant dans la plupart des cas

pH	T°	Moteur	Qmoy	Q	U	P1	P2	ΔP	ΔPf	Qperm	Qperm	Jv	Kc	Kp	K	K/Qw
	°C	(L/min)	(m ³ /s)	(m/s)	(Pa)	(Pa)	(Pa)	(Pa)	(Pa)	(m ³ /s)	(mL/min)	(L m ⁻² h ⁻¹)				(\$US/m ³)
50 kPa																
7,28	23	15	20,53	3,42E-04	0,68	60000	50000	55000	10000	18	3,00E-07	10,8	8,60E-06	1,07E-08	8,97E-07	2,99
7,28	23,1	20	30,85	5,14E-04	1,02	60000	50000	55000	10000	18	3,00E-07	10,8	8,60E-06	1,07E-08	9,15E-07	3,05
7,29	23,2	25	42,64	7,11E-04	1,40	60000	40000	50000	20000	22	3,67E-07	13,2	8,60E-06	1,07E-08	1,01E-06	2,76
7,29	23,4	30	46,20	7,70E-04	1,52	60000	40000	50000	20000	28	4,67E-07	16,8	8,60E-06	1,07E-08	1,03E-06	2,20
7,29	23,4	35	50,81	8,47E-04	1,67	60000	40000	50000	20000	36	6,00E-07	21,6	8,60E-06	1,07E-08	1,04E-06	1,74
7,29	23,5	40	53,51	8,92E-04	1,76	70000	30000	50000	40000	48	8,00E-07	28,8	8,60E-06	1,07E-08	1,24E-06	1,55
7,29	23,6	45	60,24	1,00E-03	1,98	80000	20000	50000	60000	58	9,67E-07	34,8	8,60E-06	1,07E-08	1,51E-06	1,56
7,29	23,7	50	59,90	9,98E-04	1,97	80000	10000	45000	70000	68	1,13E-06	40,8	8,60E-06	1,07E-08	1,61E-06	1,42
100 kPa																
7,11	17,7	20	22,02	3,67E-04	0,73	100000	90000	95000	10000	10	1,67E-07	6	8,60E-06	1,07E-08	8,99E-07	5,40
7,11	18,1	25	39,81	6,64E-04	1,31	100000	90000	95000	10000	10	1,67E-07	6	8,60E-06	1,07E-08	9,31E-07	5,59
7,1	18,7	30	51,69	8,61E-04	1,70	110000	90000	100000	20000	18	3,00E-07	10,8	8,60E-06	1,07E-08	1,04E-06	3,48
7,11	18,8	35	59,58	9,93E-04	1,96	120000	90000	105000	30000	22	3,67E-07	13,2	8,60E-06	1,07E-08	1,18E-06	3,22
7,11	19,1	40	67,95	1,13E-03	2,24	120000	80000	100000	40000	28	4,67E-07	16,8	8,60E-06	1,07E-08	1,35E-06	2,88
7,12	19,6	45	69,07	1,15E-03	2,28	120000	80000	100000	40000	36	6,00E-07	21,6	8,60E-06	1,07E-08	1,35E-06	2,26
7,12	20,6	50	70,89	1,18E-03	2,33	120000	80000	100000	40000	42	7,00E-07	25,2	8,60E-06	1,07E-08	1,37E-06	1,95

Essai

Date: 30 oct. '01
Effluent: J
UF - Lisier tamisé (2oct01)
K/Qw
Variation Qv, U, etc

Calibration

T (°C)	22,5
Qv (LPM)	45
P1/P2 (kPa)	110/90
Moteur	30
Qw (ml/min)	1460

NOTE: Vitesses décroissantes et pressions croissantes

Temps (min)	pH	T° °C	Moteur	Qmoy (L/min)	Q (m³/s)	U (m/s)	P1 (Pa)	P2 (Pa)	ΔP (Pa)	ΔPI (Pa)	Qperm (mL/min)	Qperm (m³/s)	Jv (L m⁻² h⁻¹)	Kc	Kp	K	K/Qw (\$US/m³)
0	8,05	21,4	40	62,28	1,04E-03	2,05	110000	90000	100000	20000	40	6,67E-07	24	8,60E-06	1,07E-08	1,08E-06	1,62
42	8,04	28	40	66,16	1,10E-03	2,18	110000	90000	100000	20000	52	8,67E-07	31,2	8,60E-06	1,07E-08	1,10E-06	1,27
80	8,25	18	40	66,67	1,11E-03	2,20	110000	90000	100000	20000	40	6,67E-07	24	8,60E-06	1,07E-08	1,10E-06	1,65
116	8,15	24,7	40	65,47	1,09E-03	2,16	110000	90000	100000	20000	45	7,50E-07	27	8,60E-06	1,07E-08	1,09E-06	1,46
148	8,12	29,4	40	65,77	1,10E-03	2,17	110000	90000	100000	20000	50	8,33E-07	30	8,60E-06	1,07E-08	1,10E-06	1,31
191	8,29	29,6	40	66,26	1,10E-03	2,18	110000	90000	100000	20000	40	6,67E-07	24	8,60E-06	1,07E-08	1,10E-06	1,65
225	8,26	20,9	40	66,09	1,10E-03	2,18	110000	90000	100000	20000	40	6,67E-07	24	8,60E-06	1,07E-08	1,10E-06	1,64
249	8,27	21,7	40	65,40	1,09E-03	2,15	110000	90000	100000	20000	40	6,67E-07	24	8,60E-06	1,07E-08	1,09E-06	1,64
290	8,27	22,5	40	66,13	1,10E-03	2,18	110000	90000	100000	20000	42	7,00E-07	25,2	8,60E-06	1,07E-08	1,10E-06	1,57

Essai

Date: 31 oct. '01

Effluent J

UF - Lisiér tamisé (2oct01)

Concentration

Calibration

T (°C) 21,5

Qv (LPM) 45

P1/P2 (kPa) 110/90

Moteur 30

Qw (ml/min) 1300

NOTE: Vitesses décroissantes et pressions croissantes

Temps (min)	pH	T° (°C)	Moteur	Qmoy (L/min)	Q (m³/s)	U (m/s)	P1 (Pa)	P2 (Pa)	ΔP (Pa)	ΔPf (Pa)	Qperm (mL/min)	Qperm (m³/s)	Jv (L m⁻² h⁻¹)	Kc	Kp	K	K/Qw (\$US/m³)
0	8,2	22,2	40	66,09	1,10E-03	2,18	110000	90000	100000	20000	24	4,00E-07	14,4	8,60E-06	1,07E-08	1,10E-06	2,74
30	8,16	30	40	68,29	1,14E-03	2,25	110000	90000	100000	20000	40	6,67E-07	24	8,60E-06	1,07E-08	1,10E-06	1,66
60	8,18	30,8	40	69,98	1,17E-03	2,31	110000	90000	100000	20000	42	7,00E-07	25,2	8,60E-06	1,07E-08	1,11E-06	1,59
80	8,25	26,8	40	69,45	1,16E-03	2,29	110000	90000	100000	20000	40	6,67E-07	24	8,60E-06	1,07E-08	1,11E-06	1,66
108	8,28	24,7	40	69,70	1,16E-03	2,30	110000	90000	100000	20000	38	6,33E-07	22,8	8,60E-06	1,07E-08	1,11E-06	1,75
155	8,28	24,6	40	68,97	1,15E-03	2,27	110000	90000	100000	20000	38	6,33E-07	22,8	8,60E-06	1,07E-08	1,11E-06	1,75
195	8,26	24,3	40	67,13	1,12E-03	2,21	110000	90000	100000	20000	38	6,33E-07	22,8	8,60E-06	1,07E-08	1,10E-06	1,74
222	8,25	25	40	68,51	1,14E-03	2,26	110000	90000	100000	20000	38	6,33E-07	22,8	8,60E-06	1,07E-08	1,11E-06	1,74
263	8,24	25,6	40	68,37	1,14E-03	2,25	110000	90000	100000	20000	38	6,33E-07	22,8	8,60E-06	1,07E-08	1,10E-06	1,74
290	8,24	25,4	40	70,19	1,17E-03	2,31	110000	90000	100000	20000	38	6,33E-07	22,8	8,60E-06	1,07E-08	1,11E-06	1,75
330	8,26	25,5	40	69,40	1,16E-03	2,29	110000	90000	100000	20000	40	6,67E-07	24	8,60E-06	1,07E-08	1,11E-06	1,66

Essai

Date: 6-7 nov. '01
Effluent J
UF - Lisier tamisé
K/Qw
Variation Qv, U, etc

Calibration

T (°C) 15
Qv (LPM) 45
P1/P2 (kPa) 110/90
Moteur 30
Qw (ml/min) 1500

NOTE: Vitesses décroissantes et pressions croissantes

pH	T°	Moteur	Qmoy	Q	U	P1	P2	ΔP	ΔPf	Qperm	Qperm	Jv	Kc	Kp	K	K/Qw
°C		(L/min)	(m³/s)	(m/s)	(Pa)	(Pa)	(Pa)	(Pa)	(Pa)	(mL/min)	(m³/s)	(L m⁻² h⁻¹)				(\$US/m³)
100 kPa																
6,89	18,4	20	30,56	5,09E-04	1,01	110000	90000	100000	20000	18	3,00E-07	10,8	8,60E-06	1,07E-08	9,69E-07	3,23
6,89	18,7	25	40,46	6,74E-04	1,33	110000	90000	100000	20000	20	3,33E-07	12	8,60E-06	1,07E-08	1,00E-06	3,01
6,89	18,9	30	51,11	8,52E-04	1,68	110000	90000	100000	20000	24	4,00E-07	14,4	8,60E-06	1,07E-08	1,04E-06	2,61
6,89	19,3	35	60,17	1,00E-03	1,98	110000	80000	95000	30000	34	5,67E-07	20,4	8,60E-06	1,07E-08	1,18E-06	2,09
6,89	19,6	40	68,47	1,14E-03	2,26	120000	80000	100000	40000	44	7,33E-07	26,4	8,60E-06	1,07E-08	1,35E-06	1,84
6,89	19,9	45	71,58	1,19E-03	2,36	120000	80000	100000	40000	56	9,33E-07	33,6	8,60E-06	1,07E-08	1,37E-06	1,47
6,89	20,2	50	75,14	1,25E-03	2,47	130000	80000	105000	50000	62	1,03E-06	37,2	8,60E-06	1,07E-08	1,53E-06	1,48
200 kPa																
7,43	23,7	25	37,57	6,28E-04	1,24	210000	190000	200000	20000	28	4,67E-07	16,8	8,60E-06	1,07E-08	9,95E-07	2,13
7,52	24,2	30	49,87	8,31E-04	1,64	210000	190000	200000	20000	30	5,00E-07	18	8,60E-06	1,07E-08	1,04E-06	2,08
7,57	22,7	35	59,67	9,94E-04	1,97	210000	190000	200000	20000	32	5,33E-07	19,2	8,60E-06	1,07E-08	1,07E-06	2,01
7,62	21,2	40	69,55	1,16E-03	2,29	220000	180000	200000	40000	36	6,00E-07	21,6	8,60E-06	1,07E-08	1,36E-06	2,26
7,67	20,1	45	75,48	1,26E-03	2,49	220000	180000	200000	40000	40	6,67E-07	24	8,60E-06	1,07E-08	1,40E-06	2,10
7,71	19,4	50	79,51	1,33E-03	2,62	230000	180000	205000	50000	44	7,33E-07	26,4	8,60E-06	1,07E-08	1,57E-06	2,14
50 kPa																
7,87	19,4	15	16,76	2,79E-04	0,55	60000	40000	50000	20000	14	2,33E-07	8,4	8,60E-06	1,07E-08	9,20E-07	3,94
7,9	20,1	20	28,41	4,74E-04	0,94	60000	40000	50000	20000	14	2,33E-07	8,4	8,60E-06	1,07E-08	9,61E-07	4,12
7,9	20,3	25	36,42	6,07E-04	1,20	60000	40000	50000	20000	20	3,33E-07	12	8,60E-06	1,07E-08	9,90E-07	2,97
7,9	20,6	30	46,95	7,83E-04	1,55	70000	30000	50000	40000	24	4,00E-07	14,4	8,60E-06	1,07E-08	1,20E-06	2,99
7,9	20,9	35	57,18	9,53E-04	1,88	80000	20000	50000	60000	30	5,00E-07	18	8,60E-06	1,07E-08	1,47E-06	2,94
7,9	21,3	40	58,37	9,73E-04	1,92	80000	20000	50000	60000	38	6,33E-07	22,8	8,60E-06	1,07E-08	1,48E-06	2,34
7,9	21,6	45	61,83	1,03E-03	2,04	90000	10000	50000	80000	46	7,67E-07	27,6	8,60E-06	1,07E-08	1,74E-06	2,27
7,9	22	50	65,34	1,09E-03	2,15	90000	10000	50000	80000	48	8,00E-07	28,8	8,60E-06	1,07E-08	1,79E-06	2,24

Essai		Calibration														
Date: 21 nov. '01		T (°C)														
Effluent : Eau du robinet		Qv (LPM)														
EUF - Eau du robinet		P1/P2 (kPa)														
K/Qw		Moteur														
Variation Qv, U, etc		Qw (ml/min)														
NOTE: Vitesses décroissantes et pressions croissantes																
pH	T°	Moteur	Qmoy	Q	U	P1	P2	ΔP	ΔPf	Qperm	Qperm	Jv	Kc	Kp	K	K/Qw
	°C		(L/min)	(m ³ /s)	(m/s)	(Pa)	(Pa)	(Pa)	(Pa)	(mL/min)	(m3/s)	(L m ⁻² h ⁻¹)				(\$US/m ³)
50 kPa																
7,83	24	15	20,24	3,37E-04	0,67	60000	40000	50000	20000	780	1,30E-05	468	8,60E-06	1,07E-08	9,39E-07	0,07
7,79	24	20	28,67	4,78E-04	0,94	70000	30000	50000	40000	700	1,17E-05	420	8,60E-06	1,07E-08	1,07E-06	0,09
7,75	24	25	40,08	6,68E-04	1,32	90000	10000	50000	80000	700	1,17E-05	420	8,60E-06	1,07E-08	1,44E-06	0,12
7,8	24,2	30	51,08	8,51E-04	1,68	100000	10000	55000	90000	700	1,17E-05	420	8,60E-06	1,07E-08	1,69E-06	0,14
7,85	24,3	35	48,64	8,11E-04	1,60	110000	10000	60000	100000	660	1,10E-05	396	8,60E-06	1,07E-08	1,73E-06	0,16
100 kPa																
7,83	24,7	15	18,22	3,04E-04	0,60	100000	0	50000	100000	760	1,27E-05	456	8,60E-06	1,07E-08	1,19E-06	0,09
7,86	24,8	20	27,19	4,53E-04	0,90	110000	90000	100000	20000	740	1,23E-05	444	8,60E-06	1,07E-08	9,70E-07	0,08
7,87	24,9	25	36,41	6,07E-04	1,20	120000	80000	100000	40000	760	1,27E-05	456	8,60E-06	1,07E-08	1,13E-06	0,09
7,91	25	30	49,61	8,27E-04	1,63	140000	60000	100000	80000	720	1,20E-05	432	8,60E-06	1,07E-08	1,58E-06	0,13
7,95	25,3	35	58,93	9,82E-04	1,94	150000	50000	100000	100000	680	1,13E-05	408	8,60E-06	1,07E-08	1,92E-06	0,17
150 kPa																
7,75	25	20	25,72	4,29E-04	0,85	160000	140000	150000	20000	860	1,43E-05	516	8,60E-06	1,07E-08	9,75E-07	0,07
8,01	26	25	38,3	6,38E-04	1,26	170000	130000	150000	40000	760	1,27E-05	456	8,60E-06	1,07E-08	1,15E-06	0,09
8,05	26,3	30	48,79	8,13E-04	1,61	180000	120000	150000	60000	740	1,23E-05	444	8,60E-06	1,07E-08	1,40E-06	0,11
8,08	26,6	35	56,74	9,46E-04	1,87	200000	100000	150000	100000	720	1,20E-05	432	8,60E-06	1,07E-08	1,89E-06	0,16
200 kPa																
8,1	27	25	38,81	6,47E-04	1,28	220000	180000	200000	40000	800	1,33E-05	480	8,60E-06	1,07E-08	1,17E-06	0,09
8,15	27,3	30	50,15	8,36E-04	1,65	230000	170000	200000	60000	720	1,20E-05	432	8,60E-06	1,07E-08	1,42E-06	0,12
8,18	27,7	35	58,16	9,69E-04	1,92	250000	150000	200000	100000	660	1,10E-05	396	8,60E-06	1,07E-08	1,92E-06	0,17
250 kPa																
8,08	25,2	30	45,79	7,63E-04	1,51	270000	230000	250000	40000	760	1,27E-05	456	8,60E-06	1,07E-08	1,22E-06	0,10
8,12	25,8	35	55,72	9,29E-04	1,84	290000	220000	255000	70000	700	1,17E-05	420	8,60E-06	1,07E-08	1,59E-06	0,14
8,16	26,4	40	67,92	1,13E-03	2,24	300000	200000	250000	100000	680	1,13E-05	408	8,60E-06	1,07E-08	2,10E-06	0,19

Essai				Calibration													
Date: 23 nov. '01				T (°C)													
Effluent F				Qv (LPM)													
EUF - FLR				P1/P2 (kPa)													
K/Qw				Moteur													
Variation Qv, U, etc				Qw (ml/min)													
NOTE: Vitesses décroissantes et pressions croissantes																	
pH	T°	Moteur	Qmoy	Q	U	U corrigé	P1	P2	ΔP	ΔPf	Qperm	Qperm	Jv	Kc	Kp	K	K/Qw
(°C)	(m/s)	(m/s)	(m³/s)	(m/s)	(m/s)	(Pa)	(Pa)	(Pa)	(Pa)	(Pa)	(mL/min)	(m³/s)	(L m ⁻² h ⁻¹)				(\$US/m³)
50 kPa																	
8,86	18,1	15	16,86	2,81E-04	0,56	0,72	60000	4000	50000	20000	36	6,00E-07	21,6	8,60E-06	1,07E-08	9,20E-07	1,53
8,85	18	20	30,11	5,02E-04	0,99	1,29	80000	2000	50000	60000	40	6,67E-07	24	8,60E-06	1,07E-08	1,18E-06	1,77
8,84	17,7	25	40,86	6,81E-04	1,35	1,75	90000	1000	50000	80000	44	7,33E-07	26,4	8,60E-06	1,07E-08	1,44E-06	1,97
8,87	17,4	30	52,1	8,68E-04	1,72	2,23	100000	0	50000	100000	48	8,00E-07	28,8	8,60E-06	1,07E-08	1,79E-06	2,24
100 kPa																	
8,86	17,4	20	25,79	4,30E-04	0,85	1,10	110000	9000	100000	20000	52	8,67E-07	31,2	8,60E-06	1,07E-08	9,53E-07	1,10
8,84	17,8	25	36,72	6,12E-04	1,21	1,57	130000	7000	100000	60000	56	9,33E-07	33,6	8,60E-06	1,07E-08	1,25E-06	1,34
8,84	18,2	30	48,59	8,10E-04	1,60	2,08	140000	4000	90000	100000	58	9,67E-07	34,8	8,60E-06	1,07E-08	1,73E-06	1,79
8,82	18,9	35	57,57	9,60E-04	1,90	2,47	180000	2000	100000	160000	74	1,23E-06	44,4	8,60E-06	1,07E-08	2,50E-06	2,03
150 kPa																	
8,81	19,7	25	27,79	4,63E-04	0,92	1,19	170000	1E+05	150000	40000	58	9,67E-07	34,8	8,60E-06	1,07E-08	1,06E-06	1,10
8,8	20,4	30	37,73	6,29E-04	1,24	1,62	180000	1E+05	150000	60000	60	1,00E-06	36	8,60E-06	1,07E-08	1,27E-06	1,27
8,82	20,7	35	50,46	8,41E-04	1,66	2,16	200000	1E+05	155000	90000	68	1,13E-06	40,8	8,60E-06	1,07E-08	1,67E-06	1,48
8,83	20,3	40	57,51	9,59E-04	1,89	2,46	210000	1E+05	160000	100000	69	1,15E-06	41,4	8,60E-06	1,07E-08	1,89E-06	1,64
200 kPa																	
8,85	20	25	36,19	6,03E-04	1,19	1,55	220000	2E+05	200000	40000	69	1,15E-06	41,4	8,60E-06	1,07E-08	1,12E-06	0,97
8,87	19,6	30	47,8	7,97E-04	1,57	2,05	260000	1E+05	200000	120000	72	1,20E-06	43,2	8,60E-06	1,07E-08	1,89E-06	1,57
8,88	19,4	35	55,49	9,25E-04	1,83	2,38	270000	1E+05	200000	140000	74	1,23E-06	44,4	8,60E-06	1,07E-08	2,25E-06	1,82
8,88	19,1	40	65,93	1,10E-03	2,17	2,82	290000	1E+05	200000	180000	74	1,23E-06	44,4	8,60E-06	1,07E-08	2,98E-06	2,42
250 kPa																	
8,88	19	25	34,74	5,79E-04	1,14	1,49	240000	2E+05	225000	30000	64	1,07E-06	38,4	8,60E-06	1,07E-08	1,05E-06	0,98
8,89	19,1	30	42,41	7,07E-04	1,40	1,82	280000	2E+05	250000	60000	70	1,17E-06	42	8,60E-06	1,07E-08	1,32E-06	1,13
8,89	19	35	50,52	8,42E-04	1,66	2,16	300000	2E+05	250000	100000	74	1,23E-06	44,4	8,60E-06	1,07E-08	1,76E-06	1,43
300 kPa																	
8,89	19,1	30	41,55	6,93E-04	1,37	1,78	320000	3E+05	300000	40000	74	1,23E-06	44,4	8,60E-06	1,07E-08	1,16E-06	0,94
8,89	19,2	35	46,33	7,72E-04	1,53	1,98	340000	3E+05	300000	80000	78	1,30E-06	46,8	8,60E-06	1,07E-08	1,53E-06	1,17

Essai

Date: 27 nov. '01

Effluent J

ÉE-EUF (couplage) sur lisier tamisé

Concentration

Calibration

T (°C)	10,71
Qv (LPM)	50
P1/P2 (kPa)	110/90
Moteur	30
Qw (ml/min)	160

NOTE: Vitesses décroissantes et pressions croissantes

Voir arrêt du phosphore par membrane d'UF en fonction du temps de concentration

Temps (min)	pH	T° (°C)	Moteur	Qmoy (L/min)	Q (m³/s)	U (m/s)	P1 (Pa)	P2 (Pa)	ΔP (Pa)	ΔPf (Pa)	Qperm (mL/min)	Qperm (m³/s)	Jv (L m⁻² h⁻¹)	Kc	Kp	K	K/Qw (\$US/m³)
0	8,09	23,2	34	54,79	9,13E-04	1,80	110000	90000	100000	20000	24	4,00E-07	14,4	8,60E-06	1,07E-08	1,06E-06	2,64
30	8,17	24,5	34	60,84	1,01E-03	2,00	110000	90000	100000	20000	40	6,67E-07	24	8,60E-06	1,07E-08	1,08E-06	1,62
60	8,24	23,5	35	59,73	9,96E-04	1,97	110000	90000	100000	20000	56	9,33E-07	33,6	8,60E-06	1,07E-08	1,07E-06	1,15

Essai

Date: 18 déc. '01
Effluent K
EUF sur lisier tamisé
Concentration

Calibration

T (°C) 20
Qv (LPM) 40
P1/P2 (kPa) 110/90
Moteur 30
Qw (ml/min) 320

pH	T° (°C)	Moteur	Qmoy (L/min)	Q (m³/s)	U (m/s)	U corrigé (m/s)	P1 (Pa)	P2 (Pa)	ΔP (Pa)	ΔPf (Pa)	Qperm (mL/min)	Qperm (m³/s)	Jv (L m⁻² h⁻¹)	Kc	Kp	K	K/Qw (\$/m³)
50 kPa																	
7,18	25,4	22,5	37,66	6,28E-04	1,24	1,61	100000	0	50000	100000	42	7,00E-07	25,2	8,60E-06	1,07E-08	1,53E-06	2,19
7,05	22,5	22,5	37,01	6,17E-04	1,22	1,58	130000	70000	100000	60000	44	7,33E-07	26,4	8,60E-06	1,07E-08	1,26E-06	1,71
7,49	25	25	34,61	5,77E-04	1,14	1,48	180000	120000	150000	60000	44	7,33E-07	26,4	8,60E-06	1,07E-08	1,23E-06	1,68
7,62	25,1	25	33,3	5,55E-04	1,10	1,43	220000	180000	200000	40000	40	6,67E-07	24	8,60E-06	1,07E-08	1,10E-06	1,65
7,74	25,1	25	35,16	5,86E-04	1,16	1,51	290000	210000	250000	80000	42	7,00E-07	25,2	8,60E-06	1,07E-08	1,36E-06	1,95
7,9	21,8	27,5	38,5	6,42E-04	1,27	1,65	340000	260000	300000	80000	44	7,33E-07	26,4	8,60E-06	1,07E-08	1,41E-06	1,92
7,95	22	25	35,91	5,99E-04	1,18	1,54	280000	220000	250000	60000	44	7,33E-07	26,4	8,60E-06	1,07E-08	1,25E-06	1,70
7,96	21	25	37,47	6,25E-04	1,23	1,60	230000	170000	200000	60000	42	7,00E-07	25,2	8,60E-06	1,07E-08	1,26E-06	1,80
7,96	21	22,5	34,94	5,82E-04	1,15	1,50	180000	120000	150000	60000	38	6,33E-07	22,8	8,60E-06	1,07E-08	1,23E-06	1,95
7,95	21,4	22,5	36,39	6,07E-04	1,20	1,56	170000	130000	150000	40000	36	6,00E-07	21,6	8,60E-06	1,07E-08	1,12E-06	1,87
7,93	20,8	22,5	37,41	6,24E-04	1,23	1,60	100000	0	50000	100000	34	5,67E-07	20,4	8,60E-06	1,07E-08	1,53E-06	2,70

Essai

Date: 19 déc. '01

Effluent K

ÉE-EUF (couplage) sur lisier tamisé

Concentration

Calibration

T (°C)

Qv (LPM)

P1/P2 (kPa)

Moteur

Qw (ml/min)

25

43

110/90

30

150

NOTE: Vitesses décroissantes et pressions croissantes

Voir arrêt du phosphore par membrane d'UF en fonction du temps de concentration

pH	T° (°C)	Moteur	Qmoy (L/min)	Q (m³/s)	U (m/s)	U corrigé (m/s)	P1 (Pa)	P2 (Pa)	ΔP (Pa)	ΔP1 (Pa)	Qperm (mL/min)	Qperm (m³/s)	Jv (L m⁻² h⁻¹)	Kc	Kp	K	K/Qw (\$/US/m³)
50 kPa																	
7,41	23,4	25	39,55	6,59E-04	1,30	1,69	340000	260000	300000	80000	42	7,00E-07	25,2	8,60E-06	1,07E-08	1,43E-06	2,04
7,57	25,1	25	38,43	6,41E-04	1,27	1,65	290000	210000	250000	80000	46	7,67E-07	27,6	8,60E-06	1,07E-08	1,41E-06	1,84
7,76	20,1	22,5	35,43	5,91E-04	1,17	1,52	240000	160000	200000	80000	34	5,67E-07	20,4	8,60E-06	1,07E-08	1,37E-06	2,41
7,76	20	22,5	36,85	6,14E-04	1,21	1,58	190000	110000	150000	80000	36	6,00E-07	21,6	8,60E-06	1,07E-08	1,39E-06	2,31
7,75	22,4	22,5	38,16	6,36E-04	1,26	1,63	140000	60000	100000	80000	38	6,33E-07	22,8	8,60E-06	1,07E-08	1,41E-06	2,22
7,75	26,4	22,5	36,54	6,09E-04	1,20	1,56	100000	0	50000	100000	40	6,67E-07	24	8,60E-06	1,07E-08	1,51E-06	2,27
7,62	20,1	22,5	39,48	6,58E-04	1,30	1,69	140000	60000	100000	80000	38	6,33E-07	22,8	8,60E-06	1,07E-08	1,42E-06	2,25
7,8	15,4	22,5	37,01	6,17E-04	1,22	1,58	190000	110000	150000	80000	38	6,33E-07	22,8	8,60E-06	1,07E-08	1,39E-06	2,19
7,8	22,1	25	35,91	5,99E-04	1,18	1,54	230000	170000	200000	60000	42	7,00E-07	25,2	8,60E-06	1,07E-08	1,25E-06	1,78
7,86	23	25	34,88	5,81E-04	1,15	1,49	290000	210000	250000	80000	40	6,67E-07	24	8,60E-06	1,07E-08	1,36E-06	2,04
7,92	20	27,5	37,8	6,30E-04	1,25	1,62	340000	260000	300000	80000	38	6,33E-07	22,8	8,60E-06	1,07E-08	1,40E-06	2,21

Calibration			
T (°C)	24,2		
Qv (LPM)	41		
P1/P2 (kPa)	100/0		
Moteur	30		
Qw (ml/min)	240		

Essai			
Date: 8 Jan. '02			
Effluent K			
EUF de lisier de porc tamisé			
K/Qw en fct de U sans champ électrique			
P Croiss. U Décroiss. avec 120 s de stabilisation			
Pressions de 50, 100, 150, 200, 250 et 300 kPa			

Note: l = 0

50 kPa

pH	T° (°C)	Moteur	Q (L/min)	Q (m³/s)	U (m/s)	U (corrige) (m/s)	P1 (Pa)	P2 (Pa)	ΔP (Pa)	ΔPf (Pa)	Qperm (mL/min)	Qperm (m³/s)	Jv (L m⁻² h⁻¹)	Kc	Kp	K	K/Qw (\$US/m³)
6,64	17	15	20,62	3,44E-04	0,68	0,88	80000	20000	50000	60000	24	4,00E-07	14,4	8,60E-06	1,07E-08	1,08E-06	2,70
6,66	17,3	15	20,22	3,37E-04	0,67	0,87	80000	20000	50000	60000	22	3,67E-07	13,2	8,60E-06	1,07E-08	1,08E-06	2,94
6,65	17,5	15	19,51	3,25E-04	0,64	0,84	80000	20000	50000	60000	22	3,67E-07	13,2	8,60E-06	1,07E-08	1,07E-06	2,92
6,7	17,9	15	20,13	3,35E-04	0,66	0,86	80000	20000	50000	60000	22	3,67E-07	13,2	8,60E-06	1,07E-08	1,08E-06	2,93
6,72	18,3	20	32,23	5,37E-04	1,06	1,38	90000	0	45000	90000	28	4,67E-07	16,8	8,60E-06	1,07E-08	1,38E-06	2,95
6,72	18,4	25	24,05	4,01E-04	0,79	1,03	90000	0	45000	90000	38	6,33E-07	22,8	8,60E-06	1,07E-08	1,25E-06	1,97

100 kPa

pH	T° (°C)	Moteur	Q (L/min)	Q (m³/s)	U (m/s)	U (corrige) (m/s)	P1 (Pa)	P2 (Pa)	ΔP (Pa)	ΔPf (Pa)	Qperm (mL/min)	Qperm (m³/s)	Jv (L m⁻² h⁻¹)	Kc	Kp	K	K/Qw (\$US/m³)
6,74	19	35	39,31	6,55E-04	1,29	1,68	200000	0	100000	200000	58	9,67E-07	34,8	8,60E-06	1,07E-08	2,26E-06	2,34
6,77	19	30	50,65	8,44E-04	1,67	2,17	180000	20000	100000	160000	56	9,33E-07	33,6	8,60E-06	1,07E-08	2,31E-06	2,47
6,77	19,6	25	40,12	6,69E-04	1,32	1,72	150000	50000	100000	100000	44	7,33E-07	26,4	8,60E-06	1,07E-08	1,58E-06	2,15
6,8	19,9	20	27,29	4,55E-04	0,90	1,17	130000	70000	100000	60000	34	5,67E-07	20,4	8,60E-06	1,07E-08	1,15E-06	2,03
6,82	20,1	15	17,14	2,86E-04	0,56	0,73	120000	80000	100000	40000	24	4,00E-07	14,4	8,60E-06	1,07E-08	9,83E-07	2,46

150 kPa

pH	T° (°C)	Moteur	Q (L/min)	Q (m³/s)	U (m/s)	U (corrige) (m/s)	P1 (Pa)	P2 (Pa)	ΔP (Pa)	ΔPf (Pa)	Qperm (mL/min)	Qperm (m³/s)	Jv (L m⁻² h⁻¹)	Kc	Kp	K	K/Qw (\$US/m³)
6,88	20,9	35	57,5	9,58E-04	1,89	2,46	250000	50000	150000	200000	60	1,00E-06	36	8,60E-06	1,07E-08	2,91E-06	2,91
6,88	21,2	30	48,51	8,08E-04	1,60	2,08	220000	80000	150000	140000	58	9,67E-07	34,8	8,60E-06	1,07E-08	2,07E-06	2,14
6,9	21,6	25	38,41	6,40E-04	1,26	1,64	200000	100000	150000	100000	48	8,00E-07	28,8	8,60E-06	1,07E-08	1,55E-06	1,93
6,94	22,3	20	29,23	4,87E-04	0,96	1,25	180000	120000	150000	60000	34	5,67E-07	20,4	8,60E-06	1,07E-08	1,17E-06	2,07

200 kPa															
pH	T°	Moteur	Q, Moy	Q	U	U (corrige)	P1	P2	ΔP	ΔPf	Qperm	Qperm	Jv	Kc	K/Qw
	(°C)		(L/min)	(m³/s)	(m/s)	(m/s)	(Pa)	(Pa)	(Pa)	(Pa)	(mL/min)	(m³/s)	(L m⁻² h⁻¹)		(\$US/m³)
6,98	22,1	35	57,56	9,59E-04	1,90	2,46	300000	100000	200000	200000	60	1,00E-06	36	8,60E-06	2,91
6,99	21,7	30	49,38	8,23E-04	1,63	2,11	270000	130000	200000	140000	56	9,33E-07	33,6	8,60E-06	2,24
6,99	20,9	25	36,7	6,12E-04	1,21	1,57	250000	150000	200000	100000	40	6,67E-07	24	8,60E-06	2,27
7,04	20,4	20	25,59	4,26E-04	0,84	1,10	220000	180000	200000	40000	28	4,67E-07	16,8	8,60E-06	2,24
250 kPa															
pH	T°	Moteur	Q, Moy	Q	U	U (corrige)	P1	P2	ΔP	ΔPf	Qperm	Qperm	Jv	Kc	K/Qw
	(°C)		(L/min)	(m³/s)	(m/s)	(m/s)	(Pa)	(Pa)	(Pa)	(Pa)	(mL/min)	(m³/s)	(L m⁻² h⁻¹)		(\$US/m³)
7,08	19,5	35	59,34	9,89E-04	1,95	2,54	350000	150000	250000	200000	58	9,67E-07	34,8	8,60E-06	3,08
7,11	18,9	30	46,64	7,77E-04	1,54	2,60	320000	180000	250000	140000	48	8,00E-07	28,8	8,60E-06	2,53
7,13	18,5	25	35,62	5,94E-04	1,17	1,53	300000	200000	250000	100000	40	6,67E-07	24	8,60E-06	2,25
300 kPa															
pH	T°	Moteur	Q, Moy	Q	U	U (corrige)	P1	P2	ΔP	ΔPf	Qperm	Qperm	Jv	Kc	K/Qw
	(°C)		(L/min)	(m³/s)	(m/s)	(m/s)	(Pa)	(Pa)	(Pa)	(Pa)	(mL/min)	(m³/s)	(L m⁻² h⁻¹)		(\$US/m³)
7,15	18,8	30	42,68	7,11E-04	1,41	1,83	350000	250000	300000	100000	50	8,33E-07	30	8,60E-06	1,95
7,18	19,3	25	33,56	5,59E-04	1,11	1,44	340000	260000	300000	80000	38	6,33E-07	22,8	8,60E-06	2,12

Essai

Date: 9 jan. '02
 Effluent K
 EUF de lisier de porc tamisé
 K/Qw en fct de U avec champ électrique
 P. croiss, U décroiss, avec 120 s de stabilisation
 Pressions de 50, 100, 150, 200, 250 et 300 kPa

Calibration

T (°C) 29
 Qv (LPM) 35
 P1/P2 (kPa) 110/60
 Moteur 30
 Qw (ml/min) 240

50 kPa

pH	T° °C	Moteur	Moyenne	Q (m³/s)	U (m/s)	U corrigé (m/s)	P1 (Pa)	P2 (Pa)	ΔP (Pa)	ΔPf (Pa)	Qperm (mL/min)	Qperm (m³/s)	Jv (L m⁻² h⁻¹)	Kc	Kp	K	K/Qw (\$/US/m³)
6,61	14,3	15	8,015	1,34E-04	0,26	0,34	90000	10000	50000	80000	20	3,33E-07	12	8,60E-06	1,07E-08	9,75E-07	2,92
6,57	18,1	20	9,6	1,60E-04	0,32	0,41	100000	10000	55000	90000	26	4,33E-07	15,6	8,60E-06	1,07E-08	1,01E-06	2,34
6,57	17,4	25	19,54	3,26E-04	0,64	0,84	150000	50000	100000	100000	40	6,67E-07	24	8,60E-06	1,07E-08	1,21E-06	1,81

100 kPa

pH	T° °C	Moteur	Moyenne	Q (m³/s)	U (m/s)	U corrigé (m/s)	P1 (Pa)	P2 (Pa)	ΔP (Pa)	ΔPf (Pa)	Qperm (mL/min)	Qperm (m³/s)	Jv (L m⁻² h⁻¹)	Kc	Kp	K	K/Qw (\$/US/m³)
6,56	18,1	35	33,51	5,59E-04	1,10	1,43	200000	0	100000	200000	50	8,33E-07	30	8,60E-06	1,07E-08	2,06E-06	2,47
6,57	18,4	30	32,315	5,39E-04	1,06	1,38	190000	10000	100000	180000	48	8,00E-07	28,8	8,60E-06	1,07E-08	1,90E-06	2,37
6,56	18,9	25	23,285	3,88E-04	0,77	1,30	150000	50000	100000	100000	44	7,33E-07	26,4	8,60E-06	1,07E-08	1,28E-06	1,74
6,56	19	20	15,56	2,59E-04	0,51	0,67	130000	70000	100000	60000	34	5,67E-07	20,4	8,60E-06	1,07E-08	1,03E-06	1,81
6,56	19,2	15	11,475	1,91E-04	0,38	0,49	110000	80000	95000	30000	24	4,00E-07	14,4	8,60E-06	1,07E-08	9,22E-07	2,30

150 kPa

pH	T° °C	Moteur	Moyenne	Q (m³/s)	U (m/s)	U corrigé (m/s)	P1 (Pa)	P2 (Pa)	ΔP (Pa)	ΔPf (Pa)	Qperm (mL/min)	Qperm (m³/s)	Jv (L m⁻² h⁻¹)	Kc	Kp	K	K/Qw (\$/US/m³)
6,56	20,1	35	34,44	5,74E-04	1,13	1,47	150000	50000	100000	100000	52	8,67E-07	31,2	8,60E-06	1,07E-08	1,48E-06	1,70
6,56	20,5	30	30,425	5,07E-04	1,00	1,69	220000	80000	150000	140000	48	8,00E-07	28,8	8,60E-06	1,07E-08	1,62E-06	2,03
6,56	22,8	25	22,63	3,77E-04	0,75	0,97	200000	100000	150000	100000	44	7,33E-07	26,4	8,60E-06	1,07E-08	1,26E-06	1,72
6,57	22,3	20	16,495	2,75E-04	0,54	0,71	180000	120000	150000	60000	32	5,33E-07	19,2	8,60E-06	1,07E-08	1,04E-06	1,95

200 kPa															
pH	T°	Moteur	Moyenne	Q	U	U corrigé	P1	P2	ΔP	ΔPf	Qperm	Qperm	Jv	Kc	K/Qw
	°C		(L/min)	(m³/s)	(m/s)	(Corrigé - m/s)	(Pa)	(Pa)	(Pa)	(Pa)	(mL/min)	(m³/s)	(L m² h⁻¹)		(\$/m³)
6,66	21,3	35	36,015	6,00E-04	1,19	1,54	300000	100000	200000	200000	54	9,00E-07	32,4	8,60E-06	2,38
6,61	21,8	30	32,24	5,37E-04	1,06	1,38	280000	120000	200000	160000	50	8,33E-07	30	8,60E-06	2,14
6,87	21,6	25	25,43	4,24E-04	0,84	1,09	250000	150000	200000	100000	44	7,33E-07	26,4	8,60E-06	1,79
6,85	21,4	20	19,435	3,24E-04	0,64	0,83	220000	180000	200000	40000	36	6,00E-07	21,6	8,60E-06	1,67
250 kPa															
pH	T°	Moteur	Moyenne	Q	U	U corrigé	P1	P2	ΔP	ΔPf	Qperm	Qperm	Jv	Kc	K/Qw
	°C		(L/min)	(m³/s)	(m/s)	(Corrigé - m/s)	(Pa)	(Pa)	(Pa)	(Pa)	(mL/min)	(m³/s)	(L m² h⁻¹)		(\$/m³)
7,04	21,2	35	36,96	6,16E-04	1,22	1,58	350000	150000	250000	200000	60	1,00E-06	36	8,60E-06	2,18
7,05	21,5	30	31,375	5,23E-04	1,03	1,34	320000	180000	250000	140000	54	9,00E-07	32,4	8,60E-06	1,83
7,08	21,4	25	25,215	4,20E-04	0,83	1,08	300000	200000	250000	100000	48	8,00E-07	28,8	8,60E-06	1,64
300 kPa															
pH	T°	Moteur	Moyenne	Q	U	U corrigé	P1	P2	ΔP	ΔPf	Qperm	Qperm	Jv	Kc	K/Qw
	°C		(L/min)	(m³/s)	(m/s)	(Corrigé - m/s)	(Pa)	(Pa)	(Pa)	(Pa)	(mL/min)	(m³/s)	(L m² h⁻¹)		(\$/m³)
7,11	21,3	30	31,635	5,27E-04	1,04	1,35	350000	200000	275000	150000	58	9,67E-07	34,8	8,60E-06	1,77
7,12	21,1	25	24,35	4,06E-04	0,80	1,04	350000	250000	300000	100000	46	7,67E-07	27,6	8,60E-06	1,69

Essai

Date: 10 jan. '02
Effluent K
EUF de lisier de porc tamisé
FCV
Pression / vitesse constante
I=0

Calibration

T (°C)	28,9
Qv (LPM)	44,82
P1/P2 (kPa)	100/0
Moteur	30
Qw (ml/min)	120

Note: mesure volume perm accumulé

Temps (min)	pH	T° (°C)	Moteur	Gmoy (L/min)	Q (m³/s)	U (m/s)	P1 (Pa)	P2 (Pa)	ΔP (Pa)	ΔP1 (Pa)	Qperm (mL/min)	Qperm (m³/s)	Jv (L m ⁻² h ⁻¹)	Kc	Kp	K	K/Qw (\$US/m³)	Vol. Accumulé 30L total
0	6,73	17	25	78,05	1,30E-03	2,57	150000	50000	100000	100000	40	6,67E-07	24	8,60E-06	1,07E-08	2,25E-06	3,38	0,0
30	6,89	21,7	25	81,36	1,36E-03	2,68	150000	50000	100000	100000	38	6,33E-07	22,8	8,60E-06	1,07E-08	2,31E-06	3,65	1,0
67	7,07	24,5	25	81,74	1,36E-03	2,69	150000	50000	100000	100000	40	6,67E-07	24	8,60E-06	1,07E-08	2,32E-06	3,48	2,0
103	7,19	16,4	25	83,96	1,40E-03	2,77	150000	50000	100000	100000	34	5,67E-07	20,4	8,60E-06	1,07E-08	2,36E-06	4,16	3,0
143	7,28	22	25	81,19	1,35E-03	2,67	150000	50000	100000	100000	38	6,33E-07	22,8	8,60E-06	1,07E-08	2,31E-06	3,65	4,5
176	7,4	16,2	25	81,62	1,36E-03	2,69	150000	50000	100000	100000	34	5,67E-07	20,4	8,60E-06	1,07E-08	2,32E-06	4,09	5,0
197	7,44	19,6	25	81,91	1,37E-03	2,70	150000	50000	100000	100000	34	5,67E-07	20,4	8,60E-06	1,07E-08	2,32E-06	4,10	5,5
229	7,52	24	25	83,05	1,38E-03	2,74	150000	50000	100000	100000	36	6,00E-07	21,6	8,60E-06	1,07E-08	2,34E-06	3,90	7,0
260	7,59	24,8	25	83,47	1,39E-03	2,75	150000	50000	100000	100000	34	5,67E-07	20,4	8,60E-06	1,07E-08	2,35E-06	4,15	8,0
290	7,69	19,1	25	83,88	1,40E-03	2,76	150000	50000	100000	100000	30	5,00E-07	18	8,60E-06	1,07E-08	2,36E-06	4,71	9,0
321	7,69	23,4	25	84,29	1,40E-03	2,78	150000	50000	100000	100000	32	5,33E-07	19,2	8,60E-06	1,07E-08	2,36E-06	4,43	10,0
354	7,74	22,1	25	84,70	1,41E-03	2,79	150000	50000	100000	100000	32	5,33E-07	19,2	8,60E-06	1,07E-08	2,37E-06	4,45	11,0
388	7,76	24,1	25	85,12	1,42E-03	2,80	150000	50000	100000	100000	30	5,00E-07	18	8,60E-06	1,07E-08	2,38E-06	4,76	11,0
423	7,86	17	25	85,53	1,43E-03	2,82	150000	50000	100000	100000	24	4,00E-07	14,4	8,60E-06	1,07E-08	2,39E-06	5,96	12,0
455	7,86	23	25	85,94	1,43E-03	2,83	150000	50000	100000	100000	30	5,00E-07	18	8,60E-06	1,07E-08	2,39E-06	4,79	13,0
489	7,92	17	25	86,35	1,44E-03	2,84	150000	50000	100000	100000	32	5,33E-07	19,2	8,60E-06	1,07E-08	2,40E-06	4,50	13,0
521	7,84	23	25	86,77	1,45E-03	2,86	150000	50000	100000	100000	28	4,67E-07	16,8	8,60E-06	1,07E-08	2,41E-06	5,16	14,0
553	7,95	17	25	87,18	1,45E-03	2,87	150000	50000	100000	100000	22	3,67E-07	13,2	8,60E-06	1,07E-08	2,42E-06	6,59	15,0
588	7,85	23,5	25	87,59	1,46E-03	2,89	150000	50000	100000	100000	28	4,67E-07	16,8	8,60E-06	1,07E-08	2,42E-06	5,19	15,0
621	7,87	23,1	25	88,00	1,47E-03	2,90	150000	50000	100000	100000	26	4,33E-07	15,6	8,60E-06	1,07E-08	2,43E-06	5,61	16,0
680	7,87	23,1	25	88,42	1,47E-03	2,91	150000	50000	100000	100000	26	4,33E-07	15,6	8,60E-06	1,07E-08	2,44E-06	5,62	17,0
720	7,79	25	25	88,83	1,48E-03	2,93	150000	50000	100000	100000	24	4,00E-07	14,4	8,60E-06	1,07E-08	2,44E-06	6,11	18,5

Essai										Calibration									
Date: 11 Jan. '02										T (°C)									
Effluent C										Qv (LPM)									
EUF de surageant de fosse										P1/P2 (kPa)									
K/Qw en fct de U										Moteur									
P. croiss. U décroiss. avec 120 s de stabilisation										Qw (ml/min)									
Pressions de 50, 100, 150, 200, 250 et 300 kPa										110									
Note: I = 0																			
50 kPa	pH	T°	Moteur	Q Moy	Q	U	U corrigé	P1	P2	ΔP	ΔPf	Qperm	Qperm	Jv	Kc	Kp	K	K/Qw	
		°C	(L/min)	(m³/s)	(m/s)	(Pa)	(Pa)	(Pa)	(Pa)	(Pa)	(Pa)	(mL/min)	(m³/s)	(L m⁻² h⁻¹)				(\$US/m³)	
50 kPa	7,35	14,5	15	17,695	2,95E-04	0,58	0,757691	60000	40000	50000	20000	20	3,33E-07	12	8,60E-06	1,07E-08	9,23E-07	2,77	
	7,37	14,8	20	26,7	4,45E-04	0,88	1,1432806	80000	20000	50000	60000	20	3,33E-07	12	8,60E-06	1,07E-08	1,15E-06	3,44	
	7,36	14,9	25	41,295	6,88E-04	1,36	1,7682312	100000	0	50000	100000	30	5,00E-07	18	8,60E-06	1,07E-08	1,60E-06	3,19	
100 kPa	7,36	15,4	35	59,355	9,89E-04	1,96	2,5415514	200000	0	100000	200000	50	8,33E-07	30	8,60E-06	1,07E-08	2,98E-06	3,57	
	7,36	15,9	30	50,32	8,39E-04	1,66	2,1546772	180000	20000	100000	160000	44	7,33E-07	26,4	8,60E-06	1,07E-08	2,30E-06	3,13	
	7,36	16,8	25	37,345	6,22E-04	1,23	1,5990942	150000	50000	100000	100000	34	5,67E-07	20,4	8,60E-06	1,07E-08	1,53E-06	2,69	
150 kPa	7,37	17,3	20	28,13	4,69E-04	0,93	1,2045125	120000	80000	100000	40000	28	4,67E-07	16,8	8,60E-06	1,07E-08	1,06E-06	2,27	
	7,38	17,6	15	16,405	2,73E-04	0,54	0,7024539	110000	90000	100000	20000	18	3,00E-07	10,8	8,60E-06	1,07E-08	9,19E-07	3,06	
200 kPa	7,41	17,9	35	57,465	9,58E-04	1,89	2,4606225	250000	50000	150000	200000	46	7,67E-07	27,6	8,60E-06	1,07E-08	2,91E-06	3,80	
	7,42	18,4	30	49,095	8,18E-04	1,62	2,1022233	210000	90000	150000	120000	44	7,33E-07	26,4	8,60E-06	1,07E-08	1,91E-06	2,61	
	7,44	19	25	36,475	6,08E-04	1,20	1,5618412	200000	100000	150000	100000	36	6,00E-07	21,6	8,60E-06	1,07E-08	1,51E-06	2,52	
250 kPa	7,45	19,4	20	27,595	4,60E-04	0,91	1,1816041	180000	120000	150000	60000	28	4,67E-07	16,8	8,60E-06	1,07E-08	1,16E-06	2,48	
	7,48	19,6	35	56,7	9,45E-04	1,87	2,4278656	290000	110000	200000	180000	48	8,00E-07	28,8	8,60E-06	1,07E-08	2,88E-06	3,35	
	7,51	20,1	30	47,365	7,89E-04	1,56	2,0281456	270000	130000	200000	140000	46	7,67E-07	27,6	8,60E-06	1,07E-08	2,04E-06	2,67	
300 kPa	7,54	20,6	25	35,4	5,90E-04	1,17	1,5158103	230000	170000	200000	60000	36	6,00E-07	21,6	8,60E-06	1,07E-08	1,24E-06	2,07	
	7,57	20,9	20	27,515	4,59E-04	0,91	1,1781785	210000	190000	200000	20000	28	4,67E-07	16,8	8,60E-06	1,07E-08	9,59E-07	2,06	
	7,6	21,1	35	58,685	9,78E-04	1,93	2,5128623	350000	150000	250000	200000	52	8,67E-07	31,2	8,60E-06	1,07E-08	2,96E-06	3,41	
300 kPa	7,64	21,8	30	46,125	7,69E-04	1,52	1,9750494	300000	200000	250000	100000	46	7,67E-07	27,6	8,60E-06	1,07E-08	1,88E-06	2,20	
	7,69	22,3	25	35,2	5,87E-04	1,16	1,5072464	280000	220000	250000	60000	34	5,67E-07	20,4	8,60E-06	1,07E-08	1,24E-06	2,18	
	7,75	22,7	30	41,63	6,94E-04	1,37	1,7825758	350000	250000	300000	100000	40	6,67E-07	24	8,60E-06	1,07E-08	1,60E-06	2,41	
	7,8	23,1	25	34,55	5,76E-04	1,14	1,4794137	330000	270000	300000	60000	36	6,00E-07	21,6	8,60E-06	1,07E-08	1,23E-06	2,05	

Essai										Calibration								
Date: 14 jan. '02										T (°C)								
Effluent C										Qv (LPM)								
EUF de surnageant de fosse										P1/P2 (kPa)								
K/Qw en fct de U										Moteur								
P. croiss. U décroiss avec 120 s de stabilisation										Qw (ml/min)								
Pressions de 50, 100, 150, 200, 250 et 300 kPa										300								
Note: I = 16 A																		
50 kPa	pH	T° (°C)	Moteur	Q. Moy (L/min)	Q (m³/s)	U (m/s)	U corrigé (m/s)	P1 (Pa)	P2 (Pa)	ΔP (Pa)	ΔPf (Pa)	Qperm (mL/min)	Qperm (m³/s)	Jv (L m² h⁻¹)	Kc	Kp	K	K/Qw (\$US/m³)
100 kPa	7,32	20,2	15	13,755	2,29E-04	0,45	0,59	60000	40000	50000	20000	20	3,33E-07	12	8,60E-06	1,07E-08	9,09E-07	2,73
	7,34	20,5	20	15,18	2,53E-04	0,50	0,65	70000	30000	50000	40000	24	4,00E-07	14,4	8,60E-06	1,07E-08	9,68E-07	2,42
	7,34	20,8	25	23,53	3,92E-04	0,78	1,01	100000	0	50000	100000	34	5,67E-07	20,4	8,60E-06	1,07E-08	1,28E-06	2,26
	7,35	21,1	35	33,725	5,62E-04	1,11	1,44	200000	0	100000	200000	54	9,00E-07	32,4	8,60E-06	1,07E-08	2,06E-06	2,29
	7,41	21,9	30	24,29	4,05E-04	0,80	1,04	150000	50000	100000	100000	44	7,33E-07	26,4	8,60E-06	1,07E-08	1,29E-06	1,76
150 kPa	7,44	22,5	25	22,825	3,80E-04	0,75	0,98	140000	60000	100000	80000	38	6,33E-07	22,8	8,60E-06	1,07E-08	1,19E-06	1,87
	7,51	22,7	20	15,765	2,63E-04	0,52	0,68	120000	80000	100000	40000	30	5,00E-07	18	8,60E-06	1,07E-08	9,73E-07	1,95
	7,53	23	15	14,465	2,41E-04	0,48	0,62	110000	90000	100000	20000	24	4,00E-07	14,4	8,60E-06	1,07E-08	9,12E-07	2,28
	7,57	23,3	35	36,59	6,10E-04	1,21	1,57	250000	50000	150000	200000	50	8,33E-07	30	8,60E-06	1,07E-08	2,17E-06	2,60
	7,59	23,3	30	29,435	4,91E-04	0,97	1,26	200000	100000	150000	100000	46	7,67E-07	27,6	8,60E-06	1,07E-08	1,39E-06	1,81
200 kPa	7,62	22,8	25	23,185	3,86E-04	0,76	0,99	180000	120000	150000	60000	36	6,00E-07	21,6	8,60E-06	1,07E-08	1,11E-06	1,85
	7,66	22,9	20	17,585	2,93E-04	0,58	0,75	170000	130000	150000	40000	26	4,33E-07	15,6	8,60E-06	1,07E-08	9,86E-07	2,28
	7,73	22,7	35	37,23	6,21E-04	1,23	1,59	300000	100000	200000	200000	46	7,67E-07	27,6	8,60E-06	1,07E-08	2,19E-06	2,86
	7,76	22,7	30	31,49	5,25E-04	1,04	1,35	250000	150000	200000	100000	44	7,33E-07	26,4	8,60E-06	1,07E-08	1,42E-06	1,94
	7,82	22,9	25	23,69	3,95E-04	0,78	1,01	230000	170000	200000	60000	30	5,00E-07	18	8,60E-06	1,07E-08	1,11E-06	2,23
250 kPa	7,91	23	20	17,405	2,90E-04	0,57	0,75	280000	120000	200000	160000	24	4,00E-07	14,4	8,60E-06	1,07E-08	1,36E-06	3,39
	7,95	22,8	35	40,53	6,76E-04	1,33	1,74	330000	170000	250000	160000	44	7,33E-07	26,4	8,60E-06	1,07E-08	2,02E-06	2,75
	7,99	23,2	30	34,335	5,72E-04	1,13	1,47	350000	150000	250000	200000	42	7,00E-07	25,2	8,60E-06	1,07E-08	2,09E-06	2,98
	8,01	23,4	25	26,665	4,44E-04	0,88	1,14	320000	180000	250000	140000	36	6,00E-07	21,6	8,60E-06	1,07E-08	1,53E-06	2,55
	8,04	23,4	30	32,205	5,37E-04	1,06	1,38	350000	250000	300000	100000	44	7,33E-07	26,4	8,60E-06	1,07E-08	1,44E-06	1,96
300 kPa	8,08	23,7	25	25,485	4,25E-04	0,84	1,09	310000	280000	295000	30000	39	6,50E-07	23,4	8,60E-06	1,07E-08	9,98E-07	1,54

Essai		Calibration									
Date: 15 jan. '02		T (°C) 25.5									
Effluent C		Qv (LPM) 40									
EUF de surageant de fosse		P1/P2 (kPa) 130/0									
FCV		Moteur 30									
Pression / vitesse constante		Qw (ml/min) 200									
Mesuré vol. lisier accumulé											
NOTE: Pas de courant car un court-circuitage est survenu											
Temps	pH	T° (°C)	Moteur	Qmoy (L/min)	Q (m ³ /s)	U (m/s)	P1 (Pa)	P2 (Pa)	ΔP (Pa)		
(min)											
0	7,4	17,4	27,5	78,05	1,30E-03	2,57	100000	0	50000		
41	7,65	23,2	27,5	81,36	1,36E-03	2,68	100000	0	50000		
68	7,82	23	27,5	81,74	1,36E-03	2,69	100000	0	50000		
103	7,94	23,5	27,5	83,96	1,40E-03	2,77	100000	0	50000		
171	8,11	17,3	27,5	81,19	1,35E-03	2,67	100000	0	50000		
195	8,11	21	27,5	81,62	1,36E-03	2,69	100000	0	50000		
231	8,2	20,7	27,5	81,91	1,37E-03	2,70	100000	0	50000		
264	8,25	21,2	27,5	83,05	1,38E-03	2,74	100000	0	50000		
284	8,27	21,9	27,5	83,47	1,39E-03	2,75	100000	0	50000		
317	8,3	22,6	27,5	83,88	1,40E-03	2,76	100000	0	50000		
361	8,35	19,7	27,5	84,29	1,40E-03	2,78	100000	0	50000		
374	8,35	19,4	27,5	84,70	1,41E-03	2,79	100000	0	50000		
402	8,36	21,2	27,5	85,12	1,42E-03	2,80	100000	0	50000		
450	8,52	15,2	27,5	85,53	1,43E-03	2,82	100000	0	50000		
487	8,52	13,2	27,5	85,94	1,43E-03	2,83	100000	0	50000		
523	8,54	16	27,5	86,35	1,44E-03	2,84	100000	0	50000		
554	8,56	17,4	27,5	86,77	1,45E-03	2,86	100000	0	50000		
586	8,56	18,7	27,5	87,18	1,45E-03	2,87	100000	0	50000		
600	8,56	18,9	27,5	87,59	1,46E-03	2,89	100000	0	50000		

Essai

Date: 18 Jan. '02
Effluent C
EUF de surageant de fosse
FCV
Pression / vitesse constante
Mesuré vol. lisier accumulé

Calibration

T (°C)	28.5
Qv (LPM)	45
P1/P2 (kPa)	110/0
Moteur	30
Qw (ml/min)	250

NOTE: Pas de courant car court-circuitage

Temps (min)	pH	T° (°C)	Moteur	Qmoy (L/min)	Q (m³/s)	U (m/s)	P1 (Pa)	P2 (Pa)	ΔP (Pa)	ΔP1 (Pa)	Qperm (mL/min)	Qperm (m³/s)	Jv (L m⁻² h⁻¹)	Kc	Kp	K	K/Qw (\$US/m³)	Vol. Acc. 45L total
0	7,4	20	30	30,60	5,10E-04	1,01	100000	0	50000	100000	48	8,00E-07	28,8	8,60E-06	1,07E-08	1,41E-06	1,76	0,0
30	7,4	21,2	30	51,28	8,55E-04	1,69	100000	0	50000	100000	42	7,00E-07	25,2	8,60E-06	1,07E-08	1,77E-06	2,54	1,0
66	7,44	23,4	30	52,28	8,71E-04	1,72	100000	0	50000	100000	42	7,00E-07	25,2	8,60E-06	1,07E-08	1,79E-06	2,56	2,0
101	7,51	14,3	30	50,27	8,38E-04	1,66	100000	0	50000	100000	34	5,67E-07	20,4	8,60E-06	1,07E-08	1,76E-06	3,10	3,0
137	7,52	19,6	30	50,17	8,36E-04	1,65	100000	0	50000	100000	38	6,33E-07	22,8	8,60E-06	1,07E-08	1,76E-06	2,77	4,0
176	7,57	23,6	30	51,33	8,56E-04	1,69	100000	0	50000	100000	38	6,33E-07	22,8	8,60E-06	1,07E-08	1,78E-06	2,80	5,5
210	7,61	23,1	30	51,33	8,55E-04	1,69	100000	0	50000	100000	36	6,00E-07	21,6	8,60E-06	1,07E-08	1,78E-06	2,96	6,5
249	7,65	24,1	30	51,69	8,61E-04	1,70	100000	0	50000	100000	38	6,33E-07	22,8	8,60E-06	1,07E-08	1,78E-06	2,81	8,0
290	7,76	14,9	30	51,37	8,56E-04	1,69	100000	0	50000	100000	32	5,33E-07	19,2	8,60E-06	1,07E-08	1,78E-06	3,33	9,0
335	7,76	21,3	30	51,46	8,58E-04	1,69	100000	0	50000	100000	34	5,67E-07	20,4	8,60E-06	1,07E-08	1,78E-06	3,14	10,0
368	7,78	24,4	30	52,52	8,75E-04	1,73	100000	0	50000	100000	34	5,67E-07	20,4	8,60E-06	1,07E-08	1,80E-06	3,17	11,0
404	7,88	16,1	30	52,44	8,74E-04	1,73	100000	0	50000	100000	28	4,67E-07	16,8	8,60E-06	1,07E-08	1,80E-06	3,85	12,0
440	7,88	20,7	30	51,56	8,59E-04	1,70	100000	0	50000	100000	28	4,67E-07	16,8	8,60E-06	1,07E-08	1,78E-06	3,56	13,0
473	7,88	15,3	30	51,52	8,59E-04	1,70	100000	0	50000	100000	28	4,67E-07	16,8	8,60E-06	1,07E-08	1,78E-06	3,81	14,0
514	7,94	21,8	30	52,42	8,74E-04	1,73	100000	0	50000	100000	30	5,00E-07	18	8,60E-06	1,07E-08	1,80E-06	3,59	15,0
555	8,05	14,4	30	51,28	8,55E-04	1,69	100000	0	50000	100000	28	4,67E-07	16,8	8,60E-06	1,07E-08	1,77E-06	3,80	16,0
615	8,01	24,7	30	52,20	8,70E-04	1,72	100000	0	50000	100000	30	5,00E-07	18	8,60E-06	1,07E-08	1,79E-06	3,58	17,0
653	8,13	14,5	30	52,50	8,75E-04	1,73	100000	0	50000	100000	28	4,67E-07	16,8	8,60E-06	1,07E-08	1,80E-06	3,85	17,5
693	8,08	22,7	30	52,38	8,73E-04	1,73	100000	0	50000	100000	30	5,00E-07	18	8,60E-06	1,07E-08	1,79E-06	3,59	18,0
764	8,21	14,2	30	51,33	8,56E-04	1,69	100000	0	50000	100000	26	4,33E-07	15,6	8,60E-06	1,07E-08	1,78E-06	4,10	21,0
799	8,14	22,4	30	52,41	8,74E-04	1,73	100000	0	50000	100000	28	4,67E-07	16,8	8,60E-06	1,07E-08	1,79E-06	3,85	22,0
849	8,27	13,5	30	51,81	8,63E-04	1,71	100000	0	50000	100000	20	3,33E-07	12	8,60E-06	1,07E-08	1,78E-06	5,35	23,0
872	8,28	14,2	30	51,31	8,55E-04	1,69	100000	0	50000	100000	24	4,00E-07	14,4	8,60E-06	1,07E-08	1,78E-06	4,44	23,0
918	8,18	24,2	30	53,21	8,87E-04	1,75	100000	0	50000	100000	28	4,67E-07	16,8	8,60E-06	1,07E-08	1,81E-06	3,68	24,0
960	8,33	14,5	30	52,23	8,70E-04	1,72	100000	0	50000	100000	24	4,00E-07	14,4	8,60E-06	1,07E-08	1,79E-06	4,48	24,5
1005	8,2	25,5	30	53,67	8,94E-04	1,77	100000	0	50000	100000	28	4,67E-07	16,8	8,60E-06	1,07E-08	1,82E-06	3,89	27,0
1063	8,3	21	30	53,19	8,87E-04	1,75	100000	0	50000	100000	24	4,00E-07	14,4	8,60E-06	1,07E-08	1,81E-06	4,52	27,5
1102	8,32	21,2	30	52,85	8,81E-04	1,74	100000	0	50000	100000	22	3,67E-07	13,2	8,60E-06	1,07E-08	1,80E-06	4,92	28,5
1165	8,3	22,7	30	53,18	8,86E-04	1,75	100000	0	50000	100000	24	4,00E-07	14,4	8,60E-06	1,07E-08	1,81E-06	4,52	30,0
1252	8,8	25,1	30	53,05	8,84E-04	1,75	100000	0	50000	100000	22	3,67E-07	13,2	8,60E-06	1,07E-08	1,81E-06	4,93	33,0
1351	8,32	26,1	30	54,54	9,09E-04	1,80	100000	0	50000	100000	22	3,67E-07	13,2	8,60E-06	1,07E-08	1,83E-06	5,00	34,0

Essai

Date: 22 jan. '02
Effluent C
EUF de surnageant de fosse
FCV
Pression / vitesse constante
Mesuré vol. listier accumulé

Calibration

T (°C)	25,5
Qv (LPM)	40
P1/P2 (kPa)	110/0
Moteur	30
Qw (ml/min)	120

Note: I = 16 A

Temps (min)	pH	T° (°C)	Moteur	Qmoy (L/min)	Q (m³/s)	U (m/s)	P1 (Pa)	P2 (Pa)	ΔP (Pa)	Qperm (mL/min)	Qperm (m³/s)	Jv (L m⁻² h⁻¹)	Kc	Kp	K	K/Qw (\$US/m³)	Vol. Accumulé 30L total
2	6,73	17,2	30	33,95	5,66E-04	1,12	150000	50000	100000	100000	50	8,33E-07	30	1,07E-08	1,47E-06	1,76	0,0
38	6,79	23,1	30	52,01	8,67E-04	1,71	150000	50000	100000	100000	48	8,00E-07	28,8	1,07E-08	1,79E-06	2,24	1,0
77	7	28	30	53,20	8,87E-04	1,75	150000	50000	100000	100000	50	8,33E-07	30	1,07E-08	1,81E-06	2,17	2,0
115	7,2	28,1	30	55,03	9,17E-04	1,81	150000	50000	100000	100000	46	7,67E-07	27,6	1,07E-08	1,84E-06	2,40	3,0
151	7,4	26,4	30	54,50	9,08E-04	1,80	150000	50000	100000	100000	40	6,67E-07	24	1,07E-08	1,83E-06	2,75	4,0
189	7,32	25,3	30	54,46	9,08E-04	1,79	150000	50000	100000	100000	40	6,67E-07	24	1,07E-08	1,83E-06	2,75	5,0
219	7,71	25,2	30	39,26	6,54E-04	1,29	150000	50000	100000	100000	38	6,33E-07	22,8	1,07E-08	1,56E-06	2,46	6,0
252	7,9	26,8	30	54,26	9,04E-04	1,79	150000	50000	100000	100000	38	6,33E-07	22,8	1,07E-08	1,83E-06	2,89	7,0
278	7,95	27,4	30	55,16	9,19E-04	1,82	150000	50000	100000	100000	36	6,00E-07	21,6	1,07E-08	1,84E-06	3,07	8,0
322	8,11	28,7	30	43,87	7,31E-04	1,44	150000	50000	100000	100000	38	6,33E-07	22,8	1,07E-08	1,64E-06	2,59	9,0
360	8,21	26,7	30	53,29	8,88E-04	1,76	150000	50000	100000	100000	36	6,00E-07	21,6	1,07E-08	1,81E-06	3,02	10,0
393	8,27	27,5	30	53,92	8,99E-04	1,78	150000	50000	100000	100000	34	5,67E-07	20,4	1,07E-08	1,82E-06	3,22	11,0
424	8,3	28,1	30	54,43	9,07E-04	1,79	150000	50000	100000	100000	34	5,67E-07	20,4	1,07E-08	1,83E-06	3,23	12,0
455	8,31	27,1	30	53,26	8,88E-04	1,75	150000	50000	100000	100000	32	5,33E-07	19,2	1,07E-08	1,81E-06	3,39	13,0
483	8,32	29,1	30	53,49	8,92E-04	1,76	150000	50000	100000	100000	34	5,67E-07	20,4	1,07E-08	1,81E-06	3,20	14,0
496	8,34	29,9	30	54,37	9,06E-04	1,79	150000	50000	100000	100000	36	6,00E-07	21,6	1,07E-08	1,83E-06	3,05	15,0
538	8,41	30	30	54,59	9,10E-04	1,80	150000	50000	100000	100000	36	6,00E-07	21,6	1,07E-08	1,83E-06	3,06	16,0
571	8,47	27,3	30	36,77	6,13E-04	1,21	150000	50000	100000	100000	30	5,00E-07	18	1,07E-08	1,52E-06	3,03	17,0
615	8,49	25,6	30	59,18	9,86E-04	1,95	150000	50000	100000	100000	30	5,00E-07	18	1,07E-08	1,92E-06	3,83	18,0

Essai

Date: 29 jan. '02
Effluent C
UF de surageant de fosse
FCV
Pression / vitesse constante
Mesuré vol. lisier accumulé

Calibration

T (°C) 25
Qv (LPM) 48
P1/P2 (kPa) 110/80
Moteur 40
Qw (ml/min) 1400

Temps (min)	pH	T° (°C)	Moteur	Qmoy (L/min)	Q (m³/s)	U (m/s)	P1 (Pa)	P2 (Pa)	ΔP (Pa)	ΔPI (Pa)	Qperm (mL/min)	Qperm (m³/s)	Jv (L m⁻² h⁻¹)	Kc	Kp	K	K/Qw (\$US/m³)	Vol. Accumulé 51L total
0	7,39	20,7	35	60,25	1,00E-03	1,98	120000	90000	105000	30000	30	5,00E-07	18	8,60E-06	1,07E-08	1,18E-06	2,37	0,0
45	7,57	18,7	35	63,09	1,05E-03	2,08	120000	90000	105000	30000	28	4,67E-07	16,8	8,60E-06	1,07E-08	1,20E-06	2,57	0,5
984	8,58	20,9	35	64,15	1,07E-03	2,11	120000	90000	105000	30000	24	4,00E-07	14,4	8,60E-06	1,07E-08	1,20E-06	3,01	22,0
1074	8,58	21	35	64,03	1,07E-03	2,11	120000	90000	105000	30000	24	4,00E-07	14,4	8,60E-06	1,07E-08	1,20E-06	3,01	24,0
1232	8,58	21,3	35	64,19	1,07E-03	2,11	120000	90000	105000	30000	20	3,33E-07	12	8,60E-06	1,07E-08	1,20E-06	3,61	26,0
1275	8,58	21,4	35	64,43	1,07E-03	2,12	120000	90000	105000	30000	20	3,33E-07	12	8,60E-06	1,07E-08	1,21E-06	3,62	27,0
1359	8,58	21,5	35	64,51	1,08E-03	2,12	120000	90000	105000	30000	20	3,33E-07	12	8,60E-06	1,07E-08	1,21E-06	3,62	28,0
1424	8,57	22,4	35	63,46	1,06E-03	2,09	120000	90000	105000	30000	20	3,33E-07	12	8,60E-06	1,07E-08	1,20E-06	3,60	29,0
1488	8,55	21,6	35	63,75	1,06E-03	2,10	120000	80000	100000	40000	18	3,00E-07	10,8	8,60E-06	1,07E-08	1,32E-06	4,38	30,0

Essai

Date: 31 jan. '02

Effluent C

UF de surageant de fosse

FCV

Pression / vitesse constante

Mesuré vol. lisier accumulé

Calibration

T (°C) 25

Qv (LPM) 50

P1/P2 (kPa) 110/80

Moteur 40

Qw (ml/min) 1000

Temps (min)	pH	T° (°C)	Moteur	Qmoy (L/min)	Q (m³/s)	U (m/s)	P1 (Pa)	P2 (Pa)	ΔP (Pa)	ΔP1 (Pa)	Qperm (mL/min)	Qperm (m³/s)	Jv (L m² h⁻¹)	Kc	Kp	K	K/Qw (\$/m³)	Vol. Accumulé 5L total
0	7.49	11,5	35	52,25	8,71E-04	1,72	120000	90000	105000	30000	34	5,67E-07	20,4	8,60E-06	1,07E-08	1,14E-06	2,01	0,0
60	7,67	19,6	35	61,25	1,02E-03	2,02	120000	90000	105000	30000	32	5,33E-07	19,2	8,60E-06	1,07E-08	1,19E-06	2,23	1,0
90	7,84	21,1	35	62,57	1,04E-03	2,06	120000	90000	105000	30000	28	4,97E-07	16,8	8,60E-06	1,07E-08	1,20E-06	2,56	2,0
131	7,97	20,1	35	61,76	1,03E-03	2,03	120000	90000	105000	30000	30	5,00E-07	18	8,60E-06	1,07E-08	1,19E-06	2,38	2,5
180	8,06	19,3	35	61,16	1,02E-03	2,01	120000	90000	105000	30000	26	4,33E-07	15,6	8,60E-06	1,07E-08	1,19E-06	2,74	4,0
1244	8,64	18,7	35	61,49	1,02E-03	2,03	120000	90000	105000	30000	20	3,33E-07	12	8,60E-06	1,07E-08	1,19E-06	3,57	4,0
1331	8,64	19,1	35	61,32	1,02E-03	2,02	120000	90000	105000	30000	20	3,33E-07	12	8,60E-06	1,07E-08	1,19E-06	3,57	25,0
1386	8,63	19,4	35	62,22	1,04E-03	2,05	120000	90000	105000	30000	18	3,00E-07	10,8	8,60E-06	1,07E-08	1,19E-06	3,98	26,0
1410	8,63	19,4	35	61,47	1,02E-03	2,02	120000	90000	105000	30000	20	3,33E-07	12	8,60E-06	1,07E-08	1,19E-06	3,57	26,5
1470	8,63	19,6	35	61,15	1,02E-03	2,01	120000	90000	105000	30000	18	3,00E-07	10,8	8,60E-06	1,07E-08	1,19E-06	3,96	27,0

Essai

Date: 4 fév. '02

Effluent K

UF de lisier tamisé

FCV

Pression / vitesse constante

Mesuré vol. lisier accumulé

Calibration

T (°C)	25
Qv (LPM)	45
P1/P2 (kPa)	120/110
Moteur	40
Qw (ml/min)	1900

Temps (min)	pH	T° (°C)	Moteur	Qmoy (L/min)	Q (m³/s)	U (m/s)	P1 (Pa)	P2 (Pa)	ΔP (Pa)	ΔPf (Pa)	Qperm (mL/min)	Qperm (m³/s)	Jv (L m⁻² h⁻¹)	Kc	Kp	K	K/Qw (\$US/m³)	Vol. Accumulé 45L total
0	6,64	19	35	42,19	7,03E-04	1,39	120000	80000	100000	40000	50	8,33E-07	30	8,60E-06	1,07E-08	1,16E-06	1,39	0,0
40	6,89	19,5	35	58,19	9,70E-04	1,92	120000	90000	105000	30000	38	6,33E-07	22,8	8,60E-06	1,07E-08	1,17E-06	1,85	0,5
92	6,94	18,4	35	60,60	1,01E-03	2,00	120000	90000	105000	30000	36	6,00E-07	21,6	8,60E-06	1,07E-08	1,18E-06	1,97	2,0
111	6,95	18,2	35	59,82	9,97E-04	1,97	120000	90000	105000	30000	34	5,67E-07	20,4	8,60E-06	1,07E-08	1,18E-06	2,08	3,0
138	6,98	18,5	35	60,52	1,01E-03	1,99	120000	90000	105000	30000	36	6,00E-07	21,6	8,60E-06	1,07E-08	1,18E-06	1,97	4,0
196	7,06	19,5	35	59,94	9,99E-04	1,97	120000	90000	105000	30000	38	6,33E-07	22,8	8,60E-06	1,07E-08	1,18E-06	1,87	6,0
250	7,14	20,2	35	60,33	1,01E-03	1,99	120000	90000	105000	30000	38	6,33E-07	22,8	8,60E-06	1,07E-08	1,18E-06	1,87	8,0
288	7,19	20,7	35	61,08	1,02E-03	2,01	120000	90000	105000	30000	30	5,00E-07	18	8,60E-06	1,07E-08	1,19E-06	2,37	9,0
1282	7,5	22	35	62,33	1,04E-03	2,05	120000	90000	105000	30000	20	3,33E-07	12	8,60E-06	1,07E-08	1,19E-06	3,58	31,0
1334	7,48	22,9	35	62,50	1,04E-03	2,06	120000	90000	105000	30000	20	3,33E-07	12	8,60E-06	1,07E-08	1,19E-06	3,58	32,0
1371	7,48	23,4	35	62,12	1,04E-03	2,05	120000	90000	105000	30000	18	3,00E-07	10,8	8,60E-06	1,07E-08	1,19E-06	3,98	32,5
1446	7,48	24	35	62,57	1,04E-03	2,06	120000	90000	105000	30000	18	3,00E-07	10,8	8,60E-06	1,07E-08	1,20E-06	3,98	33,0

Essai

Date: 5 fév. '02
Effluent K
UF de lisier tamisé
FCV
Pression / vitesse constante
Mesuré vol. lisier accumulé

Calibration

T (°C)	25
Qv (LPM)	45
P1/P2 (kPa)	120/100
Moteur	40
Qw (ml/min)	1400

Temps (min)	pH	T° (°C)	Moteur	Qmoy (L/min)	Q (m³/s)	U (m/s)	P1 (Pa)	P2 (Pa)	ΔP (Pa)	ΔPf (Pa)	Qperm (mL/min)	Qperm (m³/s)	Jv (L m⁻² h⁻¹)	Kc	Kp	K	K/Qw (\$US/m³)	Vol. Accumulé (45L total)
0	6,68	10,1	35	40,88	6,81E-04	1,35	120000	90000	105000	30000	48	8,00E-07	28,8	8,60E-06	1,07E-08	1,08E-06	1,35	0,0
60	6,91	20	35	61,35	1,02E-03	2,02	120000	90000	105000	30000	36	6,00E-07	21,6	8,60E-06	1,07E-08	1,19E-06	1,98	1,0
106	6,98	18,1	35	61,40	1,02E-03	2,02	120000	90000	105000	30000	38	6,33E-07	22,8	8,60E-06	1,07E-08	1,19E-06	1,88	2,5
1104	7,7	21,4	35	63,46	1,06E-03	2,09	120000	90000	105000	30000	20	3,33E-07	12	8,60E-06	1,07E-08	1,20E-06	3,60	29,0
1208	7,65	25,2	35	65,21	1,09E-03	2,15	120000	90000	105000	30000	20	3,33E-07	12	8,60E-06	1,07E-08	1,21E-06	3,63	30,0
1234	7,63	26,5	35	65,66	1,09E-03	2,16	120000	90000	105000	30000	20	3,33E-07	12	8,60E-06	1,07E-08	1,21E-06	3,63	31,0

Essai

Date: 7 fév. '02
Effluent C
UF de surageant de fosse
K/Qw en fct de U
pression croissante, vitesse décroissante
Pressions de 50, 100, 150, 200, 250 et 300 kPa

Calibration

T (°C)	25
Qv (LPM)	45
P1/P2 (kPa)	120/80
Moteur	40
Qw (ml/min)	1500

50 kPa	pH	T° (°C)	Moteur	Q. Moy. (L/min)	Q (m³/s)	U (m/s)	P1 (Pa)	P2 (Pa)	ΔP (Pa)	ΔP1 (Pa)	Qperm (mL/min)	Qperm (m³/s)	Jv (L m⁻² h⁻¹)	Kc	Kp	K	K/Qw (\$US/m³)
7,42	18,4	15	20,185	3,36E-04	0,66	60000	40000	50000	50000	20000	18	3,00E-07	10,8	8,60E-06	1,07E-08	9,32E-07	3,11
7,44	17,5	20	26,535	4,42E-04	0,87	70000	40000	55000	50000	30000	14	2,33E-07	8,4	8,60E-06	1,07E-08	1,00E-06	4,29
7,49	17,7	25	40,495	6,75E-04	1,33	70000	30000	50000	50000	40000	16	2,67E-07	9,6	8,60E-06	1,07E-08	1,15E-06	4,31
7,51	18,2	30	50,28	8,38E-04	1,66	80000	30000	55000	50000	50000	20	3,33E-07	12	8,60E-06	1,07E-08	1,31E-06	3,93
7,54	18,7	35	49,685	8,28E-04	1,64	80000	20000	50000	50000	60000	28	4,67E-07	16,8	8,60E-06	1,07E-08	1,39E-06	2,98
7,57	18,9	40	57,795	9,63E-04	1,90	80000	20000	50000	50000	60000	34	5,67E-07	20,4	8,60E-06	1,07E-08	1,48E-06	2,61
7,58	17,9	45	61,44	1,02E-03	2,02	90000	10000	50000	50000	80000	40	6,67E-07	24	8,60E-06	1,07E-08	1,74E-06	2,61
100 kPa																	
7,62	17,4	45	73,345	1,22E-03	2,42	120000	80000	100000	100000	40000	42	7,00E-07	25,2	8,60E-06	1,07E-08	1,38E-06	1,98
7,64	18,8	40	69,355	1,16E-03	2,28	110000	80000	95000	30000	30000	38	6,33E-07	22,8	8,60E-06	1,07E-08	1,23E-06	1,94
7,68	18,3	35	59,55	9,93E-04	1,96	110000	90000	100000	100000	20000	34	5,67E-07	20,4	8,60E-06	1,07E-08	1,07E-06	1,89
7,73	17,5	30	52,465	8,74E-04	1,73	110000	90000	100000	20000	20000	30	5,00E-07	18	8,60E-06	1,07E-08	1,05E-06	2,10
7,71	18,2	25	40,67	6,78E-04	1,34	110000	90000	100000	20000	20000	24	4,00E-07	14,4	8,60E-06	1,07E-08	1,01E-06	2,51
7,8	18,7	20	29,19	4,87E-04	0,96	110000	100000	105000	10000	10000	20	3,33E-07	12	8,60E-06	1,07E-08	9,12E-07	2,74
150 kPa																	
7,85	19,2	45	74,2	1,24E-03	2,44	180000	120000	150000	60000	60000	34	5,67E-07	20,4	8,60E-06	1,07E-08	1,65E-06	2,92
7,91	18	40	68,73	1,15E-03	2,26	170000	130000	150000	40000	40000	34	5,67E-07	20,4	8,60E-06	1,07E-08	1,35E-06	2,38
7,95	17,5	35	61,575	1,03E-03	2,03	160000	140000	150000	20000	20000	32	5,33E-07	19,2	8,60E-06	1,07E-08	1,08E-06	2,03
7,99	18,3	30	50,455	8,41E-04	1,66	160000	140000	150000	20000	20000	28	4,67E-07	16,8	8,60E-06	1,07E-08	1,04E-06	2,23
8,02	19	25	38,785	6,46E-04	1,28	160000	150000	155000	10000	10000	24	4,00E-07	14,4	8,60E-06	1,07E-08	9,30E-07	2,32
8,06	17,7	20	28,82	4,77E-04	0,94	150000	145000	147500	5000	5000	20	3,33E-07	12	8,60E-06	1,07E-08	8,86E-07	2,66
200 kPa																	
8,11	18	45	75,535	1,26E-03	2,49	220000	180000	200000	40000	40000	34	5,67E-07	20,4	8,60E-06	1,07E-08	1,40E-06	2,47
8,12	18,9	40	69,28	1,15E-03	2,28	210000	180000	195000	30000	30000	34	5,67E-07	20,4	8,60E-06	1,07E-08	1,23E-06	2,17
8,11	18	35	58,98	9,83E-04	1,94	210000	190000	200000	20000	20000	30	5,00E-07	18	8,60E-06	1,07E-08	1,07E-06	2,14
8,19	18,1	30	50,445	8,41E-04	1,66	210000	200000	205000	10000	10000	28	4,67E-07	16,8	8,60E-06	1,07E-08	9,51E-07	2,04
8,21	18,9	25	37,59	6,27E-04	1,24	210000	200000	205000	10000	10000	24	4,00E-07	14,4	8,60E-06	1,07E-08	9,28E-07	2,32
250 kPa																	
8,26	17,6	45	74,21	1,24E-03	2,44	280000	220000	250000	60000	60000	32	5,33E-07	19,2	8,60E-06	1,07E-08	1,66E-06	3,10
8,26	18,7	40	67,27	1,12E-03	2,22	260000	240000	250000	20000	20000	32	5,33E-07	19,2	8,60E-06	1,07E-08	1,10E-06	2,07
8,29	18,7	35	57,34	9,56E-04	1,89	260000	240000	250000	20000	20000	30	5,00E-07	18	8,60E-06	1,07E-08	1,07E-06	2,13
8,31	17,9	30	46,33	7,72E-04	1,53	250000	240000	245000	10000	10000	28	4,67E-07	16,8	8,60E-06	1,07E-08	9,44E-07	2,02
300 kPa																	
8,32	18,7	45	69,635	1,16E-03	2,29	310000	290000	300000	20000	20000	30	5,00E-07	18	8,60E-06	1,07E-08	1,11E-06	2,22
8,33	18,5	40	64,78	1,08E-03	2,13	310000	290000	300000	300000	20000	30	5,00E-07	18	8,60E-06	1,07E-08	1,09E-06	2,19
8,36	17,7	35	53,41	8,90E-04	1,76	300000	290000	295000	10000	10000	30	5,00E-07	18	8,60E-06	1,07E-08	9,57E-07	1,91
8,36	18,7	30	43,445	7,24E-04	1,43	300000	290000	295000	10000	10000	26	4,33E-07	15,6	8,60E-06	1,07E-08	9,39E-07	2,17

Essai

Date: 8 fév. '02

Effluent K

UF de lisier de porc tamisé

K/Qw en fct de U

pression croissante, vitesse décroissante

NOTE: Le lisier semble peu chargé en MES

Calibration

T (°C)

Qv (LPN)

P1/P2 (k130/110)

Moteur

Qw (ml/r)

25
45
40
1500

50 kPa	pH	T° (°C)	Moteur	Q (L/min)	Q (m³/s)	U (m/s)	P1 (Pa)	P2 (Pa)	ΔP (Pa)	ΔP1 (Pa)	Qperm (mL/min)	Qperm (m³/s)	Jv (L m⁻² h⁻¹)	Kc	Kp	K	K/Qw (\$US/m³)
7,05	9,2	15	15,875	2,65E-04	0,52	60000	40000	50000	20000	20000	24	4,00E-07	14,4	8,60E-06	1,07E-08	9,17E-07	2,29
7,07	10,7	20	22,26	3,71E-04	0,73	60000	40000	50000	20000	20000	20	3,33E-07	12	8,60E-06	1,07E-08	9,40E-07	2,82
7,1	11,8	25	30,85	5,14E-04	1,02	70000	30000	50000	40000	40000	20	3,33E-07	12	8,60E-06	1,07E-08	1,08E-06	3,24
7,11	12,2	30	36,33	6,06E-04	1,20	80000	30000	50000	50000	50000	26	4,33E-07	15,6	8,60E-06	1,07E-08	1,18E-06	2,73
7,13	12,7	35	44,955	7,49E-04	1,48	80000	20000	50000	60000	60000	36	6,00E-07	21,6	8,60E-06	1,07E-08	1,34E-06	2,24
7,15	13,3	40	48,98	8,16E-04	1,61	90000	10000	50000	80000	80000	45	7,50E-07	27	8,60E-06	1,07E-08	1,56E-06	2,08
7,16	14,1	45	53,6	8,93E-04	1,77	90000	10000	50000	80000	80000	54	9,00E-07	32,4	8,60E-06	1,07E-08	1,63E-06	1,81
100 kPa																	
7,17	14,7	45	65,215	1,09E-03	2,15	130000	70000	100000	60000	60000	60	1,00E-06	36	8,60E-06	1,07E-08	1,56E-06	1,56
7,21	16,8	40	64,39	1,07E-03	2,12	120000	80000	100000	40000	40000	54	9,00E-07	32,4	8,60E-06	1,07E-08	1,32E-06	1,47
7,21	18,2	35	52,16	8,69E-04	1,72	110000	80000	95000	30000	30000	40	6,67E-07	24	8,60E-06	1,07E-08	1,14E-06	1,71
7,29	19	30	49,36	8,23E-04	1,63	110000	90000	100000	20000	20000	38	6,33E-07	22,8	8,60E-06	1,07E-08	1,04E-06	1,64
7,33	17,9	25	39,58	6,60E-04	1,30	110000	90000	100000	20000	20000	34	5,67E-07	20,4	8,60E-06	1,07E-08	1,00E-06	1,77
7,39	17,4	20	28,34	4,72E-04	0,93	110000	90000	100000	20000	20000	30	5,00E-07	18	8,60E-06	1,07E-08	9,62E-07	1,92
150 kPa																	
7,41	17,5	45	74,425	1,24E-03	2,45	180000	120000	150000	60000	60000	48	8,00E-07	28,8	8,60E-06	1,07E-08	1,66E-06	2,07
7,44	18,5	40	68,625	1,14E-03	2,26	180000	120000	150000	60000	60000	48	8,00E-07	28,8	8,60E-06	1,07E-08	1,60E-06	1,99
7,47	18	35	59,205	9,87E-04	1,95	170000	130000	150000	40000	40000	42	7,00E-07	25,2	8,60E-06	1,07E-08	1,28E-06	1,83
7,5	17,2	30	52,62	8,77E-04	1,73	160000	140000	150000	20000	20000	38	6,33E-07	22,8	8,60E-06	1,07E-08	1,05E-06	1,66
7,54	17,7	25	37,89	6,32E-04	1,25	160000	140000	150000	20000	20000	34	5,67E-07	20,4	8,60E-06	1,07E-08	9,96E-07	1,76
7,58	18,5	20	28,565	4,76E-04	0,94	160000	150000	155000	10000	10000	28	4,67E-07	16,8	8,60E-06	1,07E-08	9,12E-07	1,95
200 kPa																	
7,63	18,9	45	75,51	1,26E-03	2,49	220000	180000	200000	40000	40000	46	7,67E-07	27,6	8,60E-06	1,07E-08	1,40E-06	1,83
7,68	18,3	40	68,315	1,14E-03	2,25	210000	190000	200000	20000	20000	44	7,33E-07	26,4	8,60E-06	1,07E-08	1,11E-06	1,51
7,73	17,4	35	60,13	1,00E-03	1,98	210000	180000	195000	30000	30000	44	7,33E-07	26,4	8,60E-06	1,07E-08	1,18E-06	1,61
7,78	18,4	30	50,58	8,43E-04	1,67	210000	190000	200000	20000	20000	40	6,67E-07	24	8,60E-06	1,07E-08	1,04E-06	1,56
7,84	19,2	25	37,35	6,23E-04	1,23	210000	200000	205000	10000	10000	30	5,00E-07	18	8,60E-06	1,07E-08	9,28E-07	1,86
250 kPa																	
7,94	18,3	45	74,39	1,24E-03	2,45	270000	230000	250000	40000	40000	44	7,33E-07	26,4	8,60E-06	1,07E-08	1,39E-06	1,90
7,97	19,2	40	67,585	1,13E-03	2,23	270000	230000	250000	40000	40000	44	7,33E-07	26,4	8,60E-06	1,07E-08	1,34E-06	1,83
8,02	17,9	35	57,545	9,59E-04	1,90	260000	240000	250000	20000	20000	42	7,00E-07	25,2	8,60E-06	1,07E-08	1,07E-06	1,52
8,05	18,2	30	46,465	7,74E-04	1,53	260000	240000	250000	20000	20000	38	6,33E-07	22,8	8,60E-06	1,07E-08	1,03E-06	1,62
300 kPa																	
8,08	18,9	45	70,865	1,18E-03	2,33	310000	290000	300000	20000	20000	48	8,00E-07	28,8	8,60E-06	1,07E-08	1,12E-06	1,39
8,12	18,6	40	64,785	1,08E-03	2,13	310000	290000	300000	20000	20000	44	7,33E-07	26,4	8,60E-06	1,07E-08	1,09E-06	1,49
8,16	17,8	35	54,31	9,05E-04	1,79	310000	290000	300000	20000	20000	42	7,00E-07	25,2	8,60E-06	1,07E-08	1,06E-06	1,51
8,18	18,7	30	46,72	7,79E-04	1,54	310000	290000	300000	20000	20000	40	6,67E-07	24	8,60E-06	1,07E-08	1,03E-06	1,54

Essai										Calibration								
Date: 12 fév. '02										T (°C) 25								
Effluent C										Qv (LPM) 45								
UF de surageant de fosse										P1/P2 (kPa) 110/90								
FCV										Moteur 40								
Pression/Vitesse constante										Qw (ml/min) 1300								
NOTE: Couplage UF-EE																		
Temps (min)	pH	T° (°C)	Moteur	Qmoy (L/min)	Q (m³/s)	U (m/s)	P1 (Pa)	P2 (Pa)	ΔP (Pa)	ΔPf (Pa)	Qperm (mL/min)	Qperm (m³/s)	Jv (L m ⁻² h ⁻¹)	Kc	Kp	K	K/Qw (\$/US/m³)	Vol. Accumulé 45L total
0	7,51	11,1	35	58,30	9,72E-04	1,92	120000	90000	105000	30000	30	5,00E-07	18	8,60E-06	1,07E-08	1,17E-06	2,34	0,0
55	7,67	16,4	35	60,54	1,01E-03	1,99	120000	90000	105000	30000	30	5,00E-07	18	8,60E-06	1,07E-08	1,18E-06	2,37	1,0
99	7,87	18,1	35	51,57	8,60E-04	1,70	120000	90000	105000	30000	30	5,00E-07	18	8,60E-06	1,07E-08	1,14E-06	2,27	2,0
154	8,04	18,7	35	57,60	9,60E-04	1,90	120000	90000	105000	30000	30	5,00E-07	18	8,60E-06	1,07E-08	1,17E-06	2,34	4,0
1185	8,63	18	35	53,69	8,95E-04	1,77	120000	90000	105000	30000	20	3,33E-07	12	8,60E-06	1,07E-08	1,15E-06	3,44	28,0
1257	8,62	19,7	35	47,48	7,91E-04	1,56	120000	90000	105000	30000	20	3,33E-07	12	8,60E-06	1,07E-08	1,11E-06	3,34	29,0
1326	8,6	18,1	35	55,54	9,26E-04	1,83	120000	90000	105000	30000	20	3,33E-07	12	8,60E-06	1,07E-08	1,16E-06	3,47	30,0
1451	8,58	19,4	35	61,05	1,02E-03	2,01	120000	90000	105000	30000	18	3,00E-07	10,8	8,60E-06	1,07E-08	1,19E-06	3,96	32,0
1490	8,57	19,6	35	62,59	1,04E-03	2,06	120000	90000	105000	30000	16	2,67E-07	9,6	8,60E-06	1,07E-08	1,20E-06	4,48	33,0

Essai

Date: 14 fév. '02

Effluent L

UF de lisier tamisé (Filtramat)

FCV

Pression/vitesse constante

NOTE: Essai de couplage EE-UF

Calibration

T (°C) 22

Qv (LPM) 45

P1/P2 (kPa) 120/100

Moteur

40

Qw (ml/min) 1200

Temps (min)	pH	T° (°C)	Moteur	Qmoy (L/min)	Q (m³/s)	U (m/s)	P1 (Pa)	P2 (Pa)	ΔP (Pa)	ΔP1 (Pa)	Qperm (mL/min)	Qperm (m³/s)	Jv (L m⁻² h⁻¹)	Kc	Kp	K	K/Qw (\$US/m³)	Vol. Accumulé 47L total
0	7,23	23,5	35	52,84	8,81E-04	1,74	110000	90000	100000	20000	38	6,33E-07	22,8	8,60E-06	1,07E-08	1,05E-06	1,66	0,0
15	7,16	20,1	35	56,77	9,46E-04	1,87	110000	90000	100000	20000	44	7,33E-07	26,4	8,60E-06	1,07E-08	1,06E-06	1,45	0,5
843	5,95	32	35	57,46	9,58E-04	1,89	110000	90000	100000	20000	16	2,67E-07	9,6	8,60E-06	1,07E-08	1,07E-06	3,99	24,0
913	5,97	35	35	59,24	9,87E-04	1,95	110000	90000	100000	20000	14	2,33E-07	8,4	8,60E-06	1,07E-08	1,07E-06	4,59	24,7

Essai		Calibration																
Date: 18 fév. '02		T (°C) 25																
Effluent L		Qv (LPM) 43																
UF de lisier tamisé (Filtramat)		P1/P2 (kPa) 100/80																
FCV		Moteur 40																
Pression/vitesse constante		Qw (ml/min) 1480																
NOTE: Essai de couplage UF-EE																		
Temps (min)	pH	T° (°C)	Moteur	Q (L/min)	Qmoy (m³/s)	U (m/s)	P1 (Pa)	P2 (Pa)	ΔP (Pa)	ΔPf (Pa)	Qperm (mL/min)	Qperm (m³/s)	Jv (L m⁻² h⁻¹)	Kc	Kp	K	K/Qw (\$/Qw m³)	Vol. Accumulé (47L total)
0	6,47	16,1	35	53,56	8,93E-04	1,76	120000	80000	100000	40000	32	5,33E-07	19,2	8,60E-06	1,07E-08	1,24E-06	2,33	0,0
44	6,47	16,12	35	53,33	8,89E-04	1,76	120000	80000	100000	40000	30	5,00E-07	18	8,60E-06	1,07E-08	1,24E-06	2,48	1,0
75	6,45	17,01	35	52,44	8,74E-04	1,73	120000	80000	100000	40000	36	6,00E-07	21,6	8,60E-06	1,07E-08	1,23E-06	2,06	1,5
117	6,43	18,01	35	53,16	8,86E-04	1,75	120000	80000	100000	40000	40	6,67E-07	24	8,60E-06	1,07E-08	1,24E-06	1,86	3,0
173	6,44	20,1	35	57,85	9,64E-04	1,91	120000	80000	100000	40000	34	5,67E-07	20,4	8,60E-06	1,07E-08	1,27E-06	2,25	5,0
195	6,44	20,08	35	61,51	1,03E-03	2,03	120000	80000	100000	40000	30	5,00E-07	18	8,60E-06	1,07E-08	1,30E-06	2,60	5,5
234	6,42	20,7	35	61,57	1,03E-03	2,03	120000	80000	100000	40000	30	5,00E-07	18	8,60E-06	1,07E-08	1,30E-06	2,60	6,0
250	6,42	20,7	35	61,52	1,03E-03	2,03	120000	80000	100000	40000	30	5,00E-07	18	8,60E-06	1,07E-08	1,30E-06	2,60	6,5
1218	5,94	27,1	35	62,63	1,04E-03	2,06	120000	80000	100000	40000	16	2,67E-07	9,6	8,60E-06	1,07E-08	1,31E-06	4,90	25,0
1292	5,94	26,8	35	61,69	1,03E-03	2,03	120000	80000	100000	40000	14	2,33E-07	8,4	8,60E-06	1,07E-08	1,30E-06	5,57	25,2
1356	5,94	26,6	35	62,05	1,03E-03	2,04	120000	80000	100000	40000	14	2,33E-07	8,4	8,60E-06	1,07E-08	1,30E-06	5,58	25,5
1379	5,94	26,5	35	60,33	1,01E-03	1,99	120000	80000	100000	40000	12	2,00E-07	7,2	8,60E-06	1,07E-08	1,29E-06	6,45	25,5
1401	5,93	26,5	35	58,07	9,68E-04	1,91	120000	80000	100000	40000	12	2,00E-07	7,2	8,60E-06	1,07E-08	1,27E-06	6,37	25,7
1440	5,93	26,5	35	54,72	9,12E-04	1,80	120000	80000	100000	40000	14	2,33E-07	8,4	8,60E-06	1,07E-08	1,25E-06	5,36	25,8

Essai				Calibration														
Date: 20 fév. '02				T (°C) 26														
Effluent C				Qv (LPM) 48														
UF de surageant de fosse				P1/P2 (kPa) 120/100														
FCV				Moteur 40														
Pression/vitesse constante				Qw (ml/min) 1500														
NOTE: Essai de couplage EE-UF																		
Temps (min)	pH	T° (°C)	Moteur	Qmoy (L/min)	Q (m³/s)	U (m/s)	P1 (Pa)	P2 (Pa)	ΔP (Pa)	ΔPf (Pa)	Qperm (mL/min)	Qperm (m³/s)	Jv (L m² h⁻¹)	Kc	Kp	K	K/Qw (\$US/m³)	Vol. Accumulé 48L total
0	8,94	20,7	35	46,60	7,77E-04	1,53	120000	80000	100000	40000	50	8,33E-07	30	8,60E-06	1,07E-08	1,19E-06	1,43	0,0
15	8,94	19	35	60,15	1,00E-03	1,98	120000	80000	100000	40000	40	6,67E-07	24	8,60E-06	1,07E-08	1,29E-06	1,93	0,0
24	8,94	17,9	35	60,53	1,01E-03	1,99	120000	80000	100000	40000	38	6,33E-07	22,8	8,60E-06	1,07E-08	1,29E-06	2,04	1,0
848	8,93	20,6	35	52,66	8,78E-04	1,73	120000	80000	100000	40000	26	4,33E-07	15,6	8,60E-06	1,07E-08	1,24E-06	2,85	24,0
946	8,88	20,2	35	57,81	9,63E-04	1,90	120000	80000	100000	40000	26	4,33E-07	15,6	8,60E-06	1,07E-08	1,27E-06	2,94	26,0
976	8,86	20,2	35	57,59	9,60E-04	1,90	120000	80000	100000	40000	26	4,33E-07	15,6	8,60E-06	1,07E-08	1,27E-06	2,93	27,0
1024	8,83	20,3	35	57,52	9,59E-04	1,89	120000	80000	100000	40000	24	4,00E-07	14,4	8,60E-06	1,07E-08	1,27E-06	3,18	28,0
1049	8,82	20,3	35	57,63	9,60E-04	1,90	120000	80000	100000	40000	24	4,00E-07	14,4	8,60E-06	1,07E-08	1,27E-06	3,18	28,5
1080	8,8	20,3	35	57,54	9,59E-04	1,90	120000	80000	100000	40000	24	4,00E-07	14,4	8,60E-06	1,07E-08	1,27E-06	3,18	29,0
1112	8,8	21	35	57,20	9,53E-04	1,88	120000	80000	100000	40000	24	4,00E-07	14,4	8,60E-06	1,07E-08	1,27E-06	3,17	30,0
1158	8,76	20,4	35	58,42	9,74E-04	1,92	120000	80000	100000	40000	24	4,00E-07	14,4	8,60E-06	1,07E-08	1,28E-06	3,19	31,0

Essai

Date: 27 fev. '02

Effluent C

UF de surageant de fosse

FCV

Pression/vitesse constante

Calibration

T (°C)

Qv (LPM)

P1/P2 (kPa)

Moteur

Qw (ml/min)

29

48

130/100

40

1800

Temps (min)	pH	T° (°C)	Moteur	Qmoy (L/min)	Q (m³/s)	U (m/s)	P1 (Pa)	P2 (Pa)	ΔP (Pa)	ΔPf (Pa)	Qperm (mL/min)	Qperm (m³/s)	Jv (L m⁻² h⁻¹)	Kc	Kp	K	K/Qw (\$US/m³)	Vol. Accumulé 44L total
0	7,48	19,6	35	50,59	8,43E-04	1,67	120000	90000	105000	30000	44	7,33E-07	26,4	8,60E-06	1,07E-08	1,13E-06	1,54	0,0
83	8,12	25,1	35	71,58	1,19E-03	2,36	120000	90000	105000	30000	38	6,33E-07	22,8	8,60E-06	1,07E-08	1,24E-06	1,96	3,0
129	8,29	22,1	35	70,60	1,18E-03	2,33	120000	90000	105000	30000	38	6,33E-07	22,8	8,60E-06	1,07E-08	1,24E-06	1,96	4,0
162	8,33	25,5	35	71,66	1,19E-03	2,36	120000	90000	105000	30000	40	6,67E-07	24	8,60E-06	1,07E-08	1,24E-06	1,87	5,0
193	8,4	25,8	35	71,59	1,19E-03	2,36	120000	90000	105000	30000	40	6,67E-07	24	8,60E-06	1,07E-08	1,24E-06	1,87	6,0
1253	8,6	21,3	35	64,68	1,08E-03	2,13	120000	90000	105000	30000	14	2,33E-07	8,4	8,60E-06	1,07E-08	1,21E-06	5,17	29,0
1308	8,59	21,4	35	65,39	1,09E-03	2,15	120000	90000	105000	30000	16	2,67E-07	9,6	8,60E-06	1,07E-08	1,21E-06	4,54	29,5
1359	8,57	21,5	35	65,79	1,10E-03	2,17	120000	90000	105000	30000	15	2,50E-07	9	8,60E-06	1,07E-08	1,21E-06	4,85	29,5

Essai

Date: 28 fév. '02
Effluent L
UF de lisier tamisé (Filtramat)
FCV
Pression/vitesse constante

Calibration

T (°C)	21
Qv (LPM)	45
P1/P2 (kPa)	120/100
Moteur	40
Qw (ml/min)	1800

Temps (min)	pH	T° (°C)	Moteur	Qmoy (L/min)	Q (m³/s)	U (m/s)	P1 (Pa)	P2 (Pa)	ΔP (Pa)	ΔPI (Pa)	Qperm (mL/min)	Qperm (m³/s)	Jv (L m⁻² h⁻¹)	Kc	Kp	K	K/Qw (\$/m³)	Vol. Accumulé 45L total
0	6,26	9,2	30	34,12	5,69E-04	1,12	110000	90000	100000	20000	24	4,00E-07	14,4	8,60E-06	1,07E-08	9,82E-07	2,46	0,0
93	6,24	13,6	30	51,56	8,59E-04	1,70	110000	90000	100000	20000	20	3,33E-07	12	8,60E-06	1,07E-08	1,04E-06	3,13	0,5
136	6,33	17,1	30	54,49	9,08E-04	1,79	110000	90000	100000	20000	20	3,33E-07	12	8,60E-06	1,07E-08	1,05E-06	3,16	1,0
153	6,34	20,6	30	55,42	9,24E-04	1,83	110000	90000	100000	20000	17	2,83E-07	10,2	8,60E-06	1,07E-08	1,06E-06	3,73	1,0
195	6,59	21	30	55,20	9,20E-04	1,82	110000	90000	100000	20000	20	3,33E-07	12	8,60E-06	1,07E-08	1,06E-06	3,17	2,0
1627	6,12	22,8	30	59,29	9,88E-04	1,95	110000	90000	100000	20000	8	1,33E-07	4,8	8,60E-06	1,07E-08	1,07E-06	8,04	18,0

Essai

Date: 4 mars '02

Effluent M

UF de pouponnière

FCV

Pression/vitesse constante

NOTE: Essai de couplage EE-UF

Calibration

T (°C) 22

Qv (LPM) 45

P1/P2 (kPa) 120/110

Moteur

Qw (ml/min) 40

Temps (min)	pH	T° (°C)	Moteur	Qmoy (L/min)	Q (m³/s)	U (m/s)	P1 (Pa)	P2 (Pa)	ΔP (Pa)	ΔPf (Pa)	Qperm (mL/min)	Qperm (m³/s)	Jv (L.m ⁻² .h ⁻¹)	Kc	Kp	K	K/Qw (\$US/m ³)	Vol. Accumulé 36L total
0	7,25	18,9	40	66,59	1,11E-03	2,19	120000	80000	100000	40000	1000	1,67E-05	600	8,60E-06	1,07E-08	1,35E-06	0,08	0,0
8	7,21	19	40	68,55	1,14E-03	2,26	120000	80000	100000	40000	140	2,33E-06	84	8,60E-06	1,07E-08	1,35E-06	0,58	2,5
75	7,03	19,1	40	69,39	1,16E-03	2,29	120000	80000	100000	40000	90	1,50E-06	54	8,60E-06	1,07E-08	1,36E-06	0,90	7,0
121	7,06	19,3	40	71,52	1,19E-03	2,36	120000	80000	100000	40000	80	1,33E-06	48	8,60E-06	1,07E-08	1,37E-06	1,03	11,0
159	7,19	18,4	40	71,51	1,19E-03	2,36	120000	80000	100000	40000	76	1,27E-06	45,6	8,60E-06	1,07E-08	1,37E-06	1,08	14,0
195	7,42	18,2	40	71,69	1,19E-03	2,36	120000	80000	100000	40000	70	1,17E-06	42	8,60E-06	1,07E-08	1,37E-06	1,18	16,0
250	7,72	18,5	40	71,83	1,20E-03	2,37	120000	80000	100000	40000	70	1,17E-06	42	8,60E-06	1,07E-08	1,37E-06	1,18	20,0
320	7,88	20,8	40	71,66	1,19E-03	2,36	120000	80000	100000	40000	70	1,17E-06	42	8,60E-06	1,07E-08	1,37E-06	1,18	24,0
372	7,95	21,9	40	72,51	1,21E-03	2,39	120000	80000	100000	40000	70	1,17E-06	42	8,60E-06	1,07E-08	1,38E-06	1,18	28,0

Essai

Date: 1 mai '02
UF d'eau du robinet
FCV

Pression/vitesse constante

Calibration

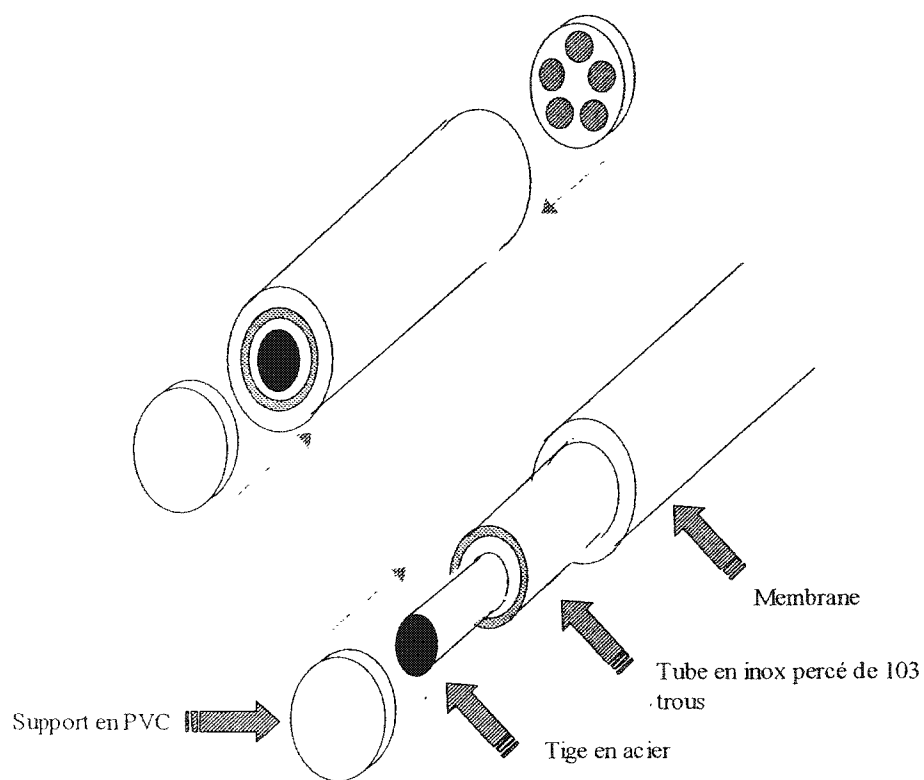
T (°C)	22
Qv (LPM)	45
P1/P2 (kPa)	120/110
Moteur	4D
Qw (ml/min)	1800

NOTE: Test de performance

Temps (min)	pH	T° (°C)	Moteur	Qmoy (L/min)	Q (m³/s)	U (m/s)	P1 (Pa)	P2 (Pa)	ΔP (Pa)	ΔPf (Pa)	Qperm (mL/min)	Qperm (m³/s)	Jv (L m⁻² h⁻¹)	Kc	Kp	K	K/Qw (\$/US/m³)
100 kPa																	
0	7,44	26,3	20	23,59	3,93E-04	0,78	110000	90000	100000	20000	1040	1,73E-05	624	8,60E-06	1,07E-08	9,63E-07	0,06
2	7,34	26,8	25	38,81	6,47E-04	1,28	110000	90000	100000	20000	800	1,33E-05	480	8,60E-06	1,07E-08	1,01E-06	0,08
4	7,37	26,7	30	47,87	7,98E-04	1,58	110000	90000	100000	20000	720	1,20E-05	432	8,60E-06	1,07E-08	1,04E-06	0,09
6	7,38	27	35	57,94	9,66E-04	1,91	120000	90000	105000	30000	660	1,10E-05	396	8,60E-06	1,07E-08	1,18E-06	0,11
8	7,42	27,4	40	67,01	1,12E-03	2,21	120000	80000	100000	40000	600	1,00E-05	360	8,60E-06	1,07E-08	1,35E-06	0,13
10	7,45	27,7	45	72,72	1,21E-03	2,40	130000	70000	100000	60000	580	9,67E-06	348	8,60E-06	1,07E-08	1,65E-06	0,17
12	7,44	28	45	76,47	1,27E-03	2,52	110000	70000	90000	40000	1020	1,70E-05	612	8,60E-06	1,07E-08	1,42E-06	0,08
14	7,46	28	40	65,77	1,10E-03	2,17	110000	80000	95000	30000	800	1,33E-05	480	8,60E-06	1,07E-08	1,23E-06	0,09
16	7,47	28,5	35	58,74	9,79E-04	1,93	110000	90000	100000	20000	780	1,30E-05	468	8,60E-06	1,07E-08	1,08E-06	0,08
18	7,51	28,8	30	52,47	8,75E-04	1,73	110000	90000	100000	20000	640	1,07E-05	384	8,60E-06	1,07E-08	1,08E-06	0,10
20	7,5	28,9	25	40,43	6,74E-04	1,33	110000	100000	105000	10000	600	1,00E-05	360	8,60E-06	1,07E-08	9,43E-07	0,09
22	7,5	29	20	29,31	4,88E-04	0,97	110000	100000	105000	10000	560	9,33E-06	336	8,60E-06	1,07E-08	9,23E-07	0,10
200 kPa																	
0	7,5	28,5	20	23,60	3,93E-04	0,78	210000	190000	200000	20000	1060	1,77E-05	636	8,60E-06	1,07E-08	9,82E-07	0,06
2	7,55	28,7	25	36,67	6,11E-04	1,21	210000	200000	205000	10000	960	1,60E-05	576	8,60E-06	1,07E-08	9,60E-07	0,06
4	7,6	29	30	50,71	8,45E-04	1,67	210000	190000	200000	20000	800	1,33E-05	480	8,60E-06	1,07E-08	1,07E-06	0,08
6	7,64	29	35	57,35	9,56E-04	1,89	210000	190000	200000	20000	700	1,17E-05	420	8,60E-06	1,07E-08	1,09E-06	0,09
8	7,69	29	40	67,48	1,12E-03	2,22	210000	190000	200000	20000	640	1,07E-05	384	8,60E-06	1,07E-08	1,12E-06	0,11
10	7,72	29	45	71,60	1,19E-03	2,36	210000	180000	195000	30000	580	9,67E-06	348	8,60E-06	1,07E-08	1,26E-06	0,13
12	7,73	29,1	45	73,71	1,23E-03	2,43	210000	190000	200000	20000	1100	1,83E-05	660	8,60E-06	1,07E-08	1,16E-06	0,06
14	7,74	29,2	40	65,23	1,09E-03	2,15	210000	190000	200000	20000	840	1,40E-05	504	8,60E-06	1,07E-08	1,12E-06	0,08
16	7,75	29,4	35	46,64	7,77E-04	1,54	210000	190000	200000	20000	720	1,20E-05	432	8,60E-06	1,07E-08	1,05E-06	0,09
18	7,78	30,1	30	44,71	7,45E-04	1,47	210000	200000	205000	10000	640	1,07E-05	384	8,60E-06	1,07E-08	9,63E-07	0,09
20	7,78	30,8	25	40,46	6,74E-04	1,33	210000	200000	205000	10000	600	1,00E-05	360	8,60E-06	1,07E-08	9,54E-07	0,10
22	7,81	30,8	20	28,41	4,73E-04	0,94	210000	200000	205000	10000	540	9,00E-06	324	8,60E-06	1,07E-08	9,30E-07	0,10

ANNEXE II

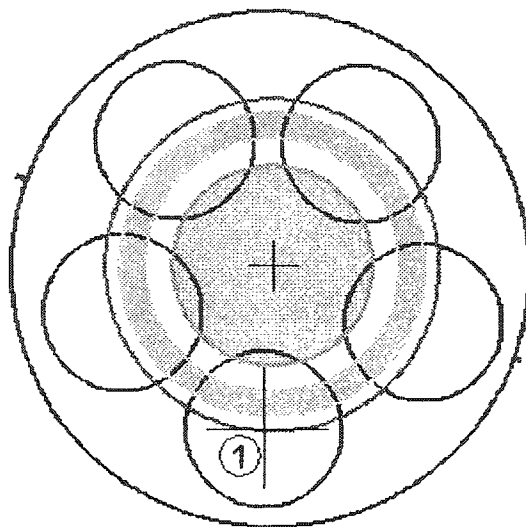
Cette section présentera le montage d'EUF.



**Montage d'EUF tel que présent dans la
membrane**

Détails du support en PVC pour l'EUF 1 et l'EUF 2.

Coupe de l'EUF 1



Coupe de l'EUF 2

