

Record Number: 16760
Author, Monographic: Tremblay, A.//Blais, J. F.//Mercier G.//Chartier M.
Author Role:
Title, Monographic: Étude du traitement en réacteur biologique séquentiel du lisier de porc séparé
Translated Title:
Reprint Status:
Edition:
Author, Subsidiary:
Author Role:
Place of Publication: Québec
Publisher Name: INRS-Eau
Date of Publication: 2000
Original Publication Date: 5 avril 2000
Volume Identification:
Extent of Work: 44
Packaging Method: pages incluant un annexe
Series Editor:
Series Editor Role:
Series Title: INRS-Eau, rapport de recherche
Series Volume ID: 561
Location/URL:
ISBN: 2-89146-332-3
Notes: Rapport annuel 1999-2000
Abstract:
Call Number: R000561
Keywords: rapport/ ok/ dl

**ÉTUDE DU TRAITEMENT EN RÉACTEUR BIOLOGIQUE
SÉQUENTIEL DU LISIER DE PORC SÉPARÉ**

Préparé par

Anne Tremblay, étudiante au doctorat

Jean-François Blais, professeur

Guy Mercier, associé de recherche

et

Myriam Chartier, assistante de recherche

Rapport de recherche No. R-561

INRS-Eau

Université du Québec

5 Avril 2000

ISBN : 2-89146-332-3

TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES MATIÈRES	4
LISTE DES TABLEAUX	6
LISTE DES FIGURES	6
1. INTRODUCTION ET PROBLÉMATIQUE	3
1.1 PROBLÉMATIQUE	3
1.2 CHAÎNE COMPLÈTE DE TRAITEMENT PROPOSÉE DANS LE CADRE DU PROJET PURINTECH	3
1.3 TRAITEMENT EN RBS	3
2. OBJECTIF	7
3. MÉTHODOLOGIE	9
3.1 PROCÉDÉ DE SÉPARATION DU LISIER TOTAL	9
3.2 COMPOSITION DE LA PHASE LIQUIDE APRÈS SÉPARATION DU LISIER	8
3.3 DESIGN ET FONCTIONNEMENT DU RBS	8
3.4 ENSEMENCEMENT DU RBS	9
3.5 SUIVI DE L'ÉVOLUTION DE LA BIOMASSE	11
3.6 ÉTUDE DU TRH	11
3.7 MÉTHODES ANALYTIQUES	11
4. RÉSULTATS ET DISCUSSION	15
4.1 PHASE 1 : ACCLIMATATION DE LA BIOMASSE DU RBS	15
4.2 PHASE 2 : VARIATION DU TRH	21
4.2.1 Effet de la variation du TRH sur l'enlèvement biologique des nutriments	21
4.2.2 Variations des MES, MVES, IVB et ratio F/M	22
4.2.3 Enlèvement de la DCO	23
4.2.4 Enlèvement de l'azote	26
4.2.5 Enlèvement du phosphore	28
5. CONCLUSION	9
6. ACTIVITÉS FUTURES ET RECOMMANDATIONS	9
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	2

LISTE DES TABLEAUX

<i>Tableau 1 Résultats des solides totaux et volatils dans le lisier brut et dans les phases solide et liquide après séparation</i>	9
<i>Tableau 2 Caractéristiques moyennes des différentes cuvées de lisier séparé</i>	9
<i>Tableau 3 Bilan des modifications apportées au RBS pendant l'acclimatation de la biomasse</i>	20
<i>Tableau 4 Rendement d'enlèvement des nutriments et teneurs en P et N de la liqueur mixte à différents TRH</i>	25
<i>Tableau 5 Concentrations résiduelles moyennes (mg/L) en nutriments, MES et MVES dans l'effluent du RBS</i>	26

LISTE DES FIGURES

<i>Figure 1 Système RBS de laboratoire expérimental</i>	10
<i>Figure 2 Taux d'enlèvement et les concentrations résiduelles à l'effluent de la DCO, du P_{total}, des ortho-P, du TKN et de l'ammonium et concentration en nitrates à l'effluent. TRH: 2.5 j: jours 1 à 25; 9 j: jours 26 à 78; 6 j: jours 79 à 91; 4 j: jours 92 à 105</i>	16
<i>Figure 3 Concentrations de la DCO, du P_{total}, des ortho-P, du TKN et de l'ammonium à l'affluent et à l'effluent. TRH: 2.5 j: jours 1 à 25; 9 j: jours 26 à 78; 6 j: jours 79 à 91; 4 j: jours 92 à 105</i>	17
<i>Figure 4 Teneurs en MES, MVES à l'effluent et dans la LM, IVB et ratio F/M. TRH: 2.5j: jours 1 à 25; 9j: jours 26 à 78; 6j: jours 79 à 91; 4j: jours 92 à 105</i>	24
<i>Figure 5 Relation entre les taux d'enlèvement de la DCO, du NH_4 et le TRH</i>	27
<i>Figure 6 Relation entre le taux d'enlèvement de l'ammonium et la teneur en nitrates à l'effluent</i>	28
<i>Figure 7 Teneurs en P et en N dans la LM pendant la période d'opération du RBS</i>	29

1. INTRODUCTION ET PROBLÉMATIQUE

Plusieurs procédés dans le monde sont couramment employés dans le traitement des eaux usées domestiques, cependant, l'épuration des eaux usées fortement chargées (spécifiquement en nutriments), comme celles provenant de l'industrie agro-alimentaire est peu développée et optimisée, spécialement au Québec où ce secteur industriel est un apport majeur à l'économie régionale et nationale. En général, des étangs de stabilisation ou des fosses septiques avec éléments épurateurs sont utilisés pour clarifier les eaux usées (Décrion et Bergevin, 1997). Ces types de traitement ne permettent pas de respecter les limites proposées dans le rejet de nutriments vers l'environnement naturel.

En 1995, le Québec comptait environ 1 500 industries agro-alimentaires en excluant celles de la Communauté urbaine de Montréal. Près du tiers de ces industries ont des effluents potentiellement nuisibles au milieu receveur s'ils ne sont pas traités préalablement à leur rejet. Par ailleurs, seulement la moitié de ces industries (donc environ 250) sont raccordée au réseau d'égouts municipaux acheminant les eaux usées vers une station d'épuration municipale (Décrion et Bergevin, 1997). Alors l'autre moitié des industries se devrait de traiter elles-mêmes leurs eaux usées. S'il y a traitement, les plus usuels sont les fosses septiques avec éléments épurateurs, cela pour les très petites industries et les réacteurs biologiques séquentiels (RBS) (Décrion et Bergevin, 1997).

Le traitement des eaux fortement concentrées dans un système de RBS est recommandé afin d'atteindre des taux d'enlèvement des nutriments optimaux. Ces systèmes de boues activées sont connus pour avoir plusieurs avantages comparés aux systèmes conventionnels de traitement en continu (Kellers *et al.*, 1997). L'enlèvement biologique simultané de la DCO, de l'ammonium et du phosphore est possible dans un seul RBS si les conditions d'opération sont sélectionnées pour introduire dans un cycle des phases de réactions en anoxie, anaérobie et aérobie, cela sans l'addition de réacteurs distincts ou de produits clarifiants ou de sels métalliques (Kellers *et al.*, 1997).

1.1 Problématique

L'industrie porcine a connu une croissance de 400 % depuis 1982. Dans l'ensemble, la production a augmenté de 7 % de 1994 à 95. Une proportion de 30 % de la production est exportée dans 55 pays. Les 12,2 millions d'animaux que compte le Canada produisent 24,4 tonnes de lisier par an. La production du porc est associée à des odeurs désagréables, la pollution de l'eau par les nitrates et le phosphore et des émissions d'ammoniac dans l'air. L'épandage à long terme augmente les concentrations en phosphore dans le sol et les risques de pollution de l'eau (et des nappes souterraines) par l'érosion des sols. D'ailleurs, des concentrations en P supérieures à la valeur seuil de 0.03 mg/L ont été relevées dans des bouches d'évacuation des drains et dans les eaux de ruisseaux et de rivières. Certains bassins hydrographiques du Québec contiennent un surplus d'N et de P dépassant un million de kg par rapport aux besoins des cultures, ainsi qu'un rapport significatif entre la quantité de solides en suspension et la teneur totale en P à l'embouchure de rivières des basses-terres du Saint-Laurent (Agriculture et Agroalimentaire Canada, 1998).

L'agrandissement des porcheries et l'excès de production de fumier oblige les fermes à traiter ou épandre le lisier. Cependant, pour pouvoir absorber la production annuelle de lisier, les producteurs doivent posséder de grandes étendues de terres pour l'épandage. Donc, il est plus économique de traiter le lisier que d'étendre ses terres à chaque augmentation de production porcine. Le traitement du lisier après séparation des phases liquide-solide en système RBS permet de réduire l'espace requis pour les installations et le traitement principalement aérobie permet de réduire les problèmes d'odeurs reliés à la gestion du fumier. L'aération nécessaire au traitement secondaire pourra être fournie par l'air de la porcherie et ainsi réduire la concentration d'air vicié à l'intérieur. Enfin, l'utilisation de l'eau traitée comme eau d'irrigation des cultures enrichira les sols en nutriments (engrais).

1.2 Chaîne complète de traitement proposée dans le cadre du projet PURINTECH

La chaîne complète de traitement du lisier brut à la ferme est composée d'une phase de séparation du liquide contenu dans le lisier brut, cela dans une préfosse (le liquide récolté contiendra moins de 1 % de MES) ; puis d'un traitement de la phase liquide dans un RBS anaérobie/aérobie, suivi d'un traitement tertiaire de filtration sur une membrane biologique à base de tourbe. L'eau ainsi traitée pourra servir d'eau d'irrigation pour les cultures. Les solides récoltés seront stabilisés à la chaux et déshydratés sur un lit de sable, qui servira de lit de séchage en été et de lit de gel-dégel en hiver.

Noter que seuls les rendements du traitement secondaire en système RBS font l'objet de ce présent rapport.

1.3 TRAITEMENT EN RBS

Le système RBS proposé dans le cadre de ce projet permettra la dénitrification, la nitrification et l'enlèvement de la pollution carbonée, cela dans un seul bassin et à des taux optimisés. Pourquoi utiliser un système RBS pour le traitement biologique des eaux usées au lieu des systèmes conventionnels de traitement par boues activées? Les avantages de ce système sont nombreux : le RBS sert de bassin d'égalisation durant la période de remplissage, il peut donc supporter de plus fortes variations de débit et de charge organique ; les risques de lessivage de la LM sont moins élevés lors de forts débits ; aucun dispositif de transfert des boues dans différents bassins n'est requis ; la décantation se fait dans des conditions idéales ; les filamenteuses peuvent être évitées en variant les stratégies d'exploitation au remplissage ; un gain d'espace ; enfin, il se prête bien à l'automatisation (Ministère de l'environnement et de la Faune, 1996a).

L'utilisation des systèmes RBS pour le traitement secondaire des eaux usées municipales a gagné une popularité croissante aux États-Unis vers la fin des années 1970 (Smith, 1987). La technologie des RBS a été prouvée moins coûteuse, plus efficace et plus contrôlable que tout autre procédé d'épuration biologique, particulièrement pour les systèmes à faibles débits. Le

concept de traitement en RBS et la flexibilité des opérations en font un candidat évident pour l'utilisation de la séquence anaérobie/aérobie. Les principales raisons de l'utilisation des RBS au lieu des systèmes par boues activées conventionnels se résument à :

- Une bonne performance reliée à des contrôles biologiques puissants, incluant l'ajustement dans le temps des périodes d'opération ;
- Égalisation des charges organiques et hydrauliques ;
- Plus résistant aux variations des charges ;
- Plus grande flexibilité de traitement ;
- Enlèvement des nutriments aux coûts des traitements secondaires ;
- Minimisation des opérateurs par la programmation des systèmes de contrôle logique ;
- Réduction des coûts d'opération avec une économie d'énergie jusqu'à 50 % ;
- Réduction d'au moins 20 % des coûts de construction

2. OBJECTIF

Le principal objectif de cette étude consiste à évaluer la capacité de traitement de lisier de porc séparé dans un système RBS. Les étapes importantes de l'étude comprennent l'évaluation primaire de la faisabilité et du rendement du traitement en système RBS, puis l'optimisation du TRH. Cela dans le but de minimiser le TRH tout en maintenant des rendements optimaux des taux d'enlèvement des nutriments (C, N, P).

3. MÉTHODOLOGIE

3.1 PROCÉDÉ DE SÉPARATION DU LISIER TOTAL

La séparation du lisier de porc provenant de la ferme Parent s'effectuait par flottation des solides en colonne pendant une période d'environ 24 heures et récolte de la fraction liquide à la base de la colonne. Les résultats des concentrations en solides totaux dans les différentes fractions sont présentés au Tableau 1. Ce procédé de séparation est utilisé en laboratoire seulement, car la conservation du lisier brut en chambre froide entraîne une fermentation et une production de gaz, laquelle cause une mise en suspension des solides. À la ferme, le lisier frais pourrait être séparé soit par flottation, par décantation, par lit de séchage ou autres. Les résultats obtenus en laboratoire étaient très probants, la phase liquide récoltée contenait moins de 1 % de ST (10 000 mg/L) et en moyenne 0,97 %. Le lisier brut contenait en moyenne 2,4 % de ST et la fraction solide du lisier 6,6 % de ST. La phase liquide représentait environ 87 % du volume total après séparation (10,5 L sur 12 L de lisier brut).

Tableau 1 Résultats des solides totaux et volatils dans le lisier brut et dans les phases solide et liquide après séparation

Date	Lisier brut		Lisier solide		Lisier liquide	
	ST (%)	STV (%)	ST (%)	STV (%)	ST (%)	STV (%)
19-09-98	-	-	7,0	5,2	0,9	0,3
23-09-98	2,3	-	6,2	4,8	0,81	0,28
24-09-98	2,64	1,76	9,9	7,2	0,79	0,26
25-09-98	-	-	8,36	6,37	0,89	0,38
28-09-98	2,37	1,68	5,35	4,12	0,86	0,33
1-10-98	2,4	-	2,85	-	1,58	-
Moyenne	2,43	1,72	6,61	5,54	0,97	0,31
		(70,8%)		(83,8%)		(31,9%)

3.2 COMPOSITION DE LA PHASE LIQUIDE APRÈS SÉPARATION DU LISIER

Le Tableau 2 présente la composition moyenne du lisier séparé. La première composition du lisier séparé présentée contenait de très fortes teneurs en ammonium, celui-ci a donc été dilué d'un facteur deux (seconde composition au Tableau 2). La conservation en chambre froide a pu entraîner la production de NH_4 et accroître la présence de cette composante nocive pour la population de bactéries nitrifiantes. En effet, l'ammonium, à fortes concentrations peut inhiber certains processus biochimiques dans les systèmes à boues activées (plus de 500 mg/L, Ministère de l'Environnement et de la Faune, 1996b). Après six semaines de fonctionnement, le processus de floculation microbien étant déficient et la nitrification absente. Ces problèmes ont été attribués, entre autres, aux fortes concentrations en ammonium dans l'affluent. Par la suite, les échantillons d'affluent ont été conservés au congélateur dans des contenants séparés d'un litre, afin d'éviter des changements dans la composition du lisier.

3.3 DESIGN ET FONCTIONNEMENT DU RBS

Le modèle de RBS utilisé pour les expériences en laboratoire est illustré à la Figure 1. Le volume total est de 6 L et le volume utile de 4.5 L. Une pompe péristaltique (Masterflex) est utilisée pour alimenter le réacteur et une autre pour soutirer l'effluent à la fin du traitement, l'aération est fournie par une pompe à air et diffusée à travers une pierre poreuse à la base du réacteur (type aquarium) et un contrôleur programmable (CHRONTOL XT) opérait quatre circuits indépendants du RBS. Le TRH initial du système est passé de 2.5 à 9 jours après quatre semaines d'opération du RBS et a été maintenu ainsi jusqu'au jour 79 avant d'être diminué à 6 jours, puis à 4 jours au 91^{ième} jour d'opération.

Le RBS fonctionnait en continu et était opéré à raison d'un cycle de traitement par jour, séparé en étapes: remplissage (0.5h aérobie), réaction anoxie/anaérobie (4h30), réaction aérobie (16h), décantation (2h), soutirage et repos (1h) et début d'un nouveau cycle.

Tableau 2 Caractéristiques moyennes des différentes cuvées de lisier séparé

Paramètres	Période du 8-9-98 au 20-10-98	Période du 21-10-98 au 9-11-98 (dilué 2 fois)	Période du 10-11-98 au 21-12-98
DCO (mg/L)	16 731	7 624	17 671
TKN (mg/L)	2 574	1 676	1 989
NH ₄ (mg/L)	2 536	1 530	1 504
NO ₂ +NO ₃ (mg/L)	n.d.	n.d.	n.d.
P _{total} (mg/L)	160	75	276
Ortho-P (mg/L)	126	68	222
MES (mg/L)	995	285	571
MVES (mg/L)	688	241	497
pH	7,8	6,2	5,4 (contrôlé)
Ratio DCO/TKN/P _{total}	100/18/1	100/22/1	100/11,5/1,5
Charge volumique (kg DCO/m ³ /j)	3,0	0,85	3,22
TRS (jours)	25	30	19
TRH (jours)	2,5 9 à partir du 1-10-98	9	9 6 à partir du 25-11-98 4 à partir du 7-12-98
F/M	0,67	0,4	0,62

3.4 ENSEMENCEMENT DU RBS

Le RBS de laboratoire a étéensemencé le 8 septembre 1998 avec 3 L d'un mélange de boues activées provenant d'un RBS de laboratoire déjà en opération (traitant des eaux usées agro-alimentaire) et de lisier de porc brut. Les caractéristiques physiques initiales du RBS sont : TRH

- 2.5 jours, TRS - 25 jours, MES - 8 400 mg/L, MVES - 5 800 mg/L, % MVES - 69 %, IVB - 42 mL/g. L'acclimatation de la biomasse du RBS ne s'étant pas réalisée après plusieurs semaines, cela a nécessité un ajout de 1 L de boues (MES 1 500 mg/L) provenant de l'usine de traitement municipal de St-Nicolas (Québec). Cet apport a permis de recouvrer rapidement un rendement efficace d'enlèvement de la DCO et une meilleure séparation des phases liquide-solide.

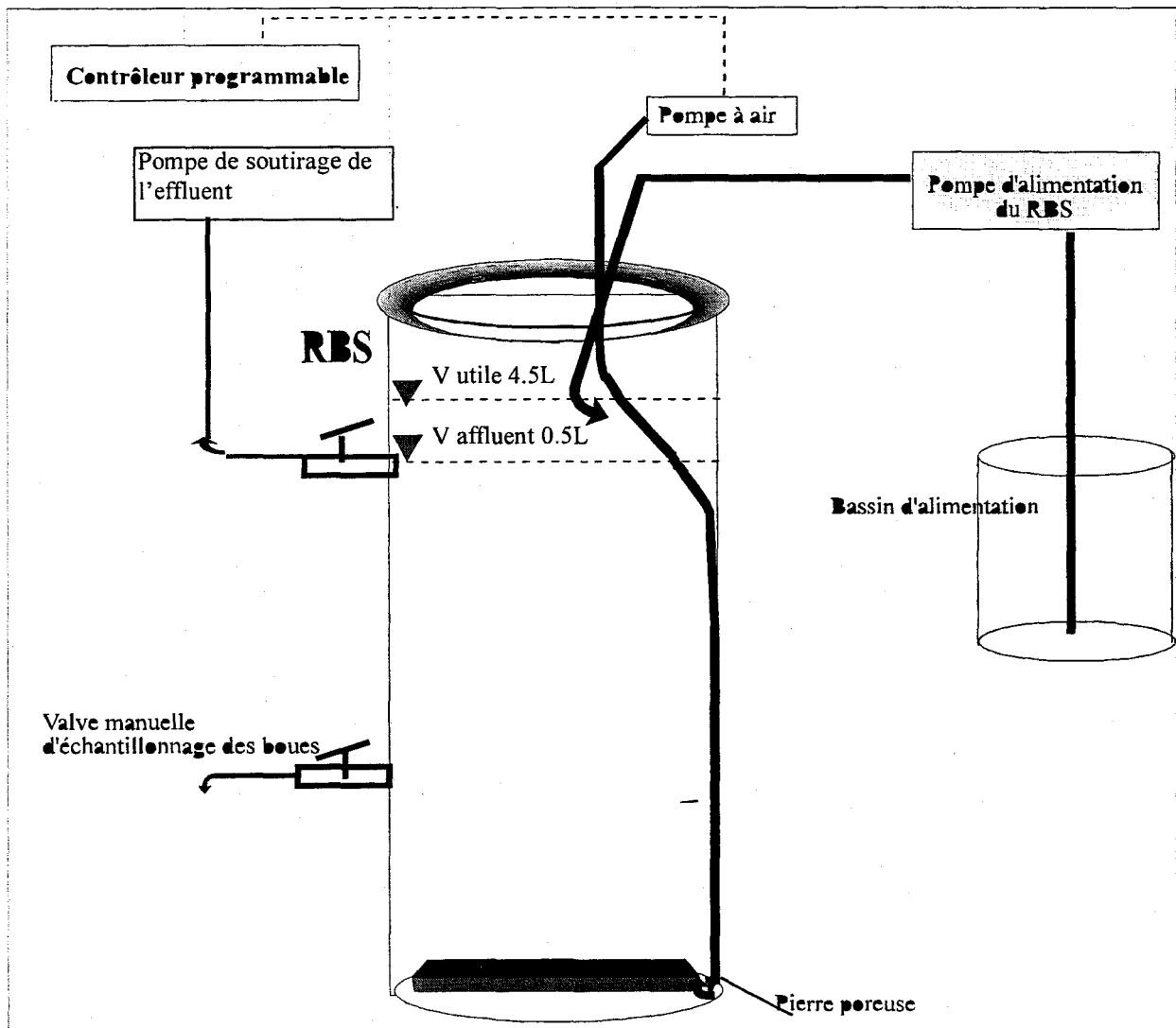


Figure 1 Système RBS de laboratoire expérimental

3.5 SUIVI DE L'ÉVOLUTION DE LA BIOMASSE

Une fois le RBS en fonction, le suivi de l'acclimatation des bactéries a été effectué. Les échantillons d'effluent, d'affluent et de LM ont été récoltés trois fois par semaine. La prise des échantillons et la préservation sont décrits dans une section ultérieure. Les paramètres suivants ont été analysés et mesurés dans les échantillons d'effluent et d'affluent : P_{total} , orthophosphates, « total Kjeldahl nitrogen » (TKN), ammonium, nitrates (effluent), demande chimique en oxygène (DCO), matières en suspension et volatiles (MES, MVES) et les solides totaux et volatils (ST, STV) dans l'effluent. Dans les échantillons de LM : oxygène dissous (OD), P_{total} , TKN, indice de volume des boues (IVB), MES, MVES, ST et STV. Le pH a été mesuré dans tous les échantillons.

3.6 ÉTUDE DU TRH

La variation du TRH s'est effectuée graduellement, l'objectif étant d'atteindre un traitement efficace avec un TRH le plus court possible, un TRH initial de 2.5 jours a été testé en espérant que la biomasse s'adapterait à un TRH si court. Cependant, la perte progressive de biomasse par le lessivage intensif a nécessité de modifier le TRH. Le TRH a donc été augmenté à 9 jours et abaissé graduellement par la suite, jusqu'à l'atteinte d'un état stable du RBS. La modification du TRH s'effectuait par la variation du volume d'affluent (V_a) traité par jour, par exemple, un V_a de 0.5 L entrant un système de volume utile (V_u) de 4.5 L, entraînera un TRH de 9 jours ($4.5/0.5$).

Comme le TRH a été modifié de 2.5 à 9 jours le 1-10-98 et que le pH élevé et la forte concentration en ammonium ont empêché le rétablissement du RBS, le TRH a été maintenu à 9 jours pendant quelques semaines encore après les modifications du 22-10-98 (voir Tableau 3). Cela dans le but de permettre à la biomasse de s'acclimater aux nouvelles conditions et principalement d'atteindre la croissance d'une population nitrifiante. Par la suite, le TRH a été diminué à 6 jours, puis à 4 jours pour la présente étude.

3.7 MÉTHODES ANALYTIQUES

Les analyses des différentes formes d'azote (ammonium NH_4^+ , nitrates plus nitrites $\text{NO}_2 + \text{NO}_3$ et azote Kjeldahl totale TKN) et de phosphore (phosphore total et orthophosphates) ont été

obtenues par des méthodes colorimétriques en accord avec les méthodes standards (APHA *et al.*, 1992). La demande chimique en oxygène (DCO) a été obtenue par méthode colorimétrique en utilisant les tubes à DCO Hach de gamme 0-1 500 mg/L.

L'affluent était prélevé directement dans le bassin d'alimentation et l'effluent à la sortie de la valve à la fin d'un cycle de traitement. La LM était puisée par une valve de soutirage manuel à la fin du traitement aérobic. Les échantillons d'affluent et d'effluent ont été préservés au congélateur et une partie était préalablement filtrée à 0.4 μm . L'IVB a été déterminée à partir de 100 mL d'échantillon de LM soutirée à la fin de la phase aérobic. La quantité de boues décantées après une demi-heure sert au calcul de l'IVB, qui est le volume de boues décantées (x 10) divisé par la quantité de MES (en g/L).

Les concentrations en MES et en MVES ont été obtenues par filtration sur membrane Whatman 934/AH et par déshydratation au four à 105°C pour les MES et par calcination à 550°C pour les MVES. Les concentrations en ST et STV ont été obtenues par séchage au four 105°C pour les ST et par calcination à 550°C pour les STV. Les filtres et les creusets ont été préalablement conservés au dessiccateur, puis pesés avant la filtration et après les passages aux fours. Les creusets en aluminium étaient préalablement chauffés à 550°C, afin d'éviter une perte de poids du creuset pendant les mesures. Quelques observations au microscope ont permis de vérifier la qualité des floes et la présence ou non de bactéries filamenteuses.

4. RÉSULTATS ET DISCUSSION

4.1 PHASE 1 : ACCLIMATATION DE LA BIOMASSE DU RBS

Les taux d'enlèvement des nutriments moyens obtenus après trois semaines de fonctionnement du RBS à un TRH de 2.5 jours, associés aux concentrations résiduelles à l'effluent sont les suivants : DCO totale 35 % - 8 345 mg/L ; DCO filtrée 88 % - 1 420 mg/L ; TKN 17 % - 2 344 mg/L ; NH_4 19 % - 2 058 mg/L ; P_{total} 16 % - 213 mg/L ; ortho-P 75 % - 33 mg/L ; $\text{NO}_2 + \text{NO}_3$ négligeables ; P_{LM} 17 mg P/mg MVES x 100 et N_{LM} 60 mg N/mg MVES x 100. Le pH de l'effluent traité était de 9.0 et avec des teneurs en MES et MVES de 908 et 782 mg/L respectivement. Le ratio F/M moyen de 1.1 était élevé.

Les concentrations moyennes de ST, STV, MES, MVES dans le RBS pour la période de départ du RBS à un TRH de 2.5 jours étaient respectivement de: 15 000, 9 600, 7 306 et 4 840 mg/L, avec un IVB moyen de 33 mL/g, un TRS moyen de 12 jours et une charge volumique moyenne de 5.2 kg DCO/m³/j. Le faible TRS impliquait un renouvellement rapide de la biomasse et une nuisance probable au maintien d'une population nitrifiante.

Les Figures 2a à 2f présentent les taux d'enlèvement et les concentrations résiduelles à l'effluent de la DCO, du P_{total} , des ortho-P, du TKN et de l'ammonium, cela pour toute la période d'opération du RBS (automne 1998). Les Figures 3a à 3e présentent les concentrations en nutriments à l'affluent et à l'effluent, donc les teneurs dans le lisier séparé avant traitement et les teneurs résiduelles à la fin du traitement. Les résultats sont présentés en ordonnée en fonction du temps d'opération chronologique (jours) en abscisse.

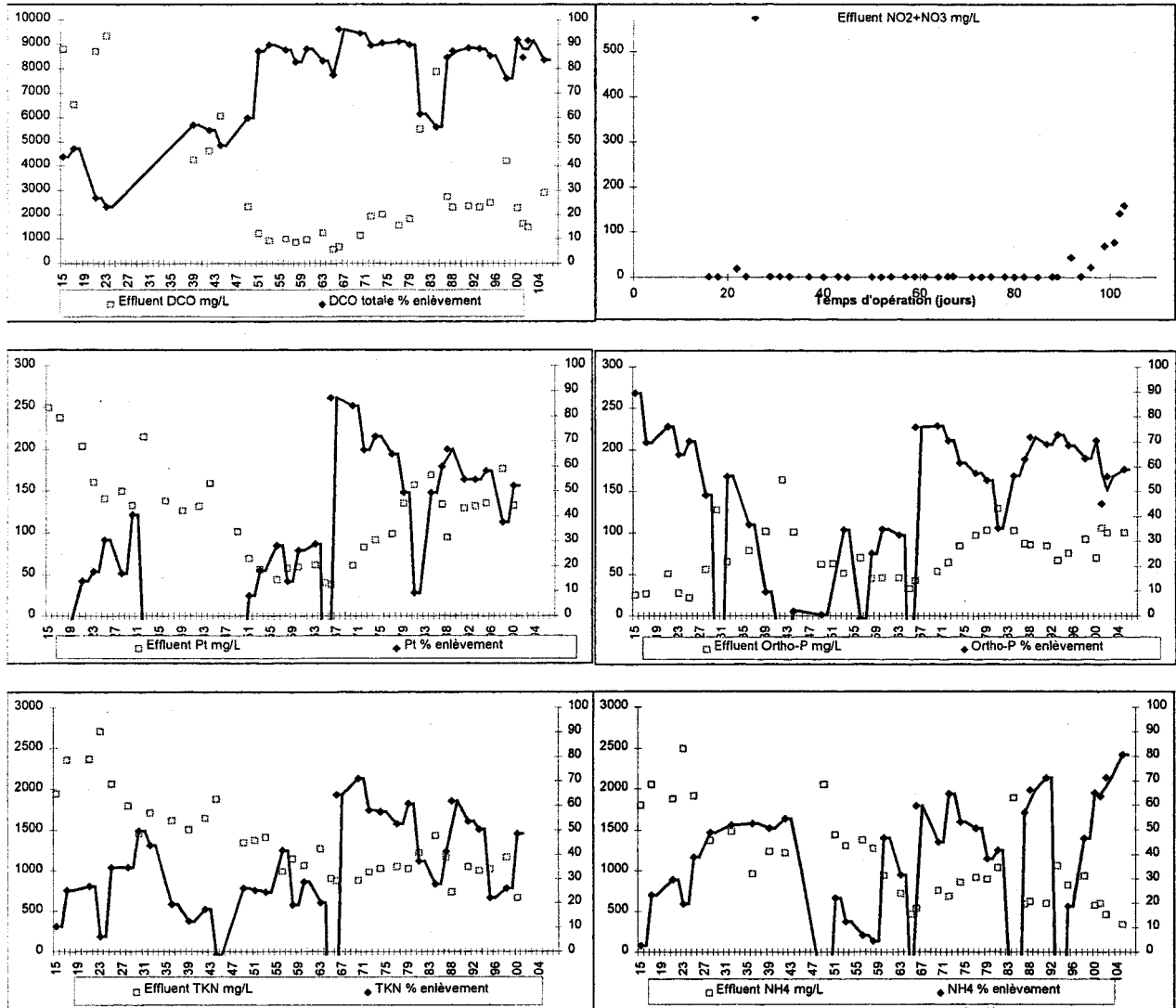


Figure 2 Taux d'enlèvement et les concentrations résiduelles à l'effluent de la DCO, du P_{total} des ortho-P, du TKN et de l'ammonium et concentration en nitrates à l'effluent. TRH: 2.5 j: jours 1 à 25; 9 j: jours 26 à 78; 6 j: jours 79 à 91; 4 j: jours 92 à 105

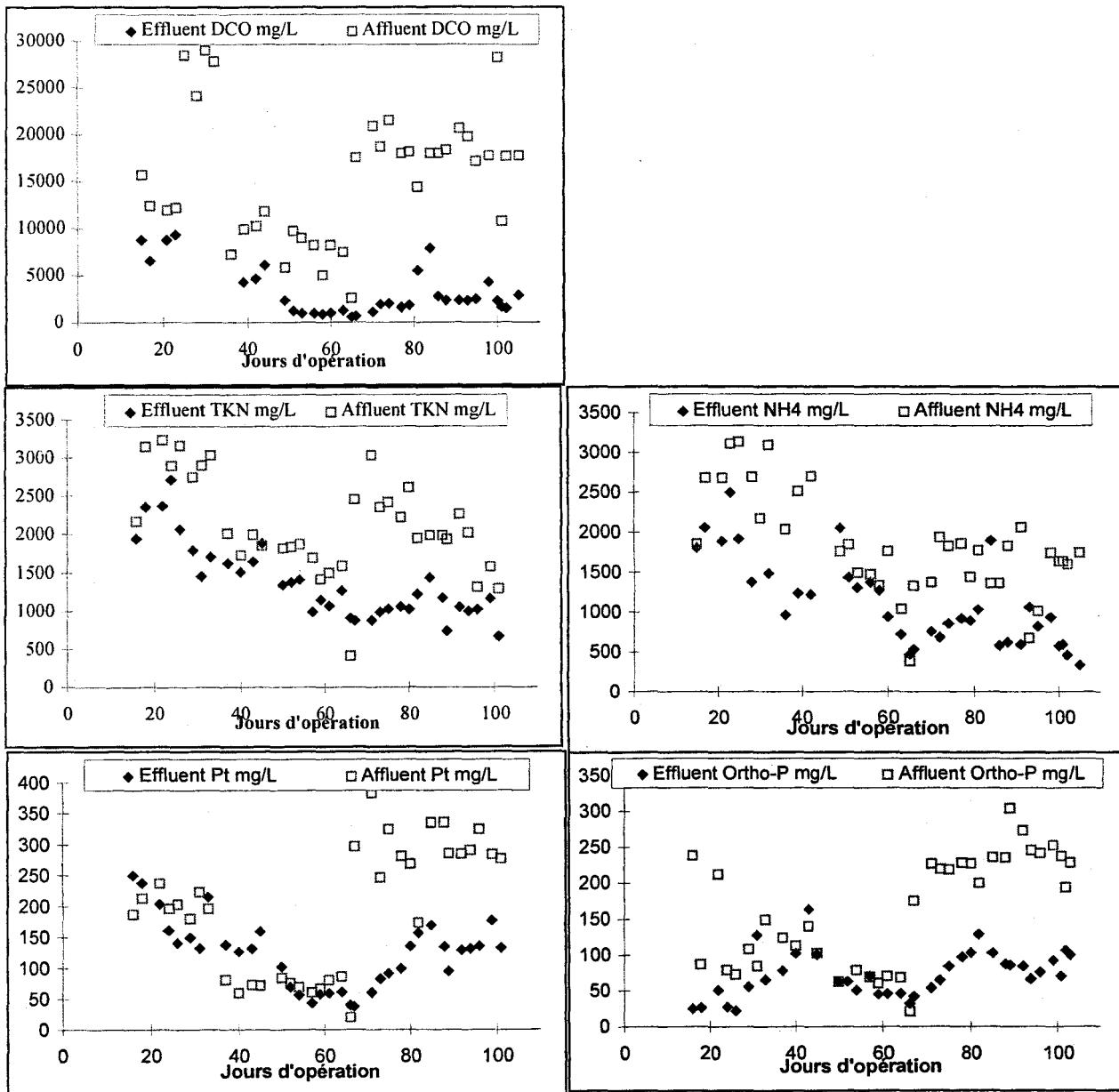


Figure 3 Concentrations de la DCO, du P_{total}, des ortho-P, du TKN et de l'ammonium à l'affluent et à l'effluent. TRH: 2.5 j: jours 1 à 25; 9 j: jours 26 à 78; 6 j: jours 79 à 91; 4 j: jours 92 à 105

Les résultats des premières semaines après le démarrage du RBS démontrent un mauvais fonctionnement et nous a entraîné à modifier certains paramètres. Le Tableau 3, ainsi que le texte qui suit, présente un bilan des problèmes rencontrés en cours d'opération du RBS et des solutions envisagées, ainsi que les conséquences de celles-ci.

Tout d'abord nous avons vérifié si la cause de la mauvaise séparation des phases solide liquide provenait de la présence de bactéries filamenteuses dans le réacteur. En effet, l'effluent était visuellement très turbide et l'enlèvement des particules par filtration nécessitait une centrifugation, puis une filtration sur un filtre de 0.4 μm de diamètre de pores. Les observations au microscope ont permis de noter une absence de bactéries filamenteuses dans la boue décantée et dans l'effluent. Les floccs de la LM étaient très compacts et petits. De grandes quantités de bactéries dispersées occupaient l'espace entre les floccs. L'aspect laiteux de l'effluent provenait des bactéries non-floculées toujours en suspension dans l'effluent après la phase de décantation.

Ce problème majeur de floculation entraînait une perte rapide de biomasse, car le volume soutiré d'effluent était de 2 L par jour (près de 2 g par jour de perte en MES à l'effluent). Donc le TRH a été augmenté en fonction de la diminution du ratio F/M, le V_a a été baissé de 2 à 0,5 L/j et le TRH conséquent était de 9 jours. Après environ 9 jours, la décantation des bactéries ne s'était pas améliorée, afin d'amorcer le processus nous avons ajouté un agent coagulant (percol 757), à raison de 100 ppm. Quelques jours après la MES a augmenté dans le RBS de 6 730 à 10 354 mg/L, mais est redescendue rapidement à 5 074 mg/L. Cependant, les ST était de 11 g/L (deux fois les MES), ce qui indique encore une mauvaise floculation des bactéries.

Plusieurs problèmes persistent dans le fonctionnement efficace du RBS après 7 semaines d'opération. Il s'agit principalement : d'une mauvaise séparation en phase de décantation, provenant de la faible floculation des bactéries de la LM ; du pH élevé dans le RBS provenant de l'augmentation progressive du pH pendant la période d'aération (dégazage de CO_2) ; de fortes concentrations en ammonium dans l'affluent (2 536 mg/L). En effet, le MEF émet comme facteur inhibiteur des concentrations supérieures à 484 ppm d'ammonium dans un système à boue activée (Ministère de l'environnement et de la faune, 1996b). La composition moyenne du lisier mesurée dans le cadre d'une étude sur le traitement du purin de porc en RBS est de : DCO 10 580 mg/L,

TKN 1 258 mg/L, NH_4 844 mg/L (Bortone *et al*, 1992). Donc, le purin utilisé dans cette étude comporte de fortes teneurs en ammonium (2 536 mg/L) par rapport à la DCO (16 731 mg/L).

Les résultats moyens des taux d'enlèvement des nutriments obtenus entre le 1^{er} et le 20 octobre 1998 à un TRH de 9 jours, associés aux concentrations résiduelles à l'effluent sont les suivants : DCO totale 53 % - 4 980 mg/L ; DCO filtrée 93 % - 1 033 mg/L ; TKN 26 % - 1 711 mg/L ; NH_4 57 %-1 365 mg/L ; P_{total} 0 % - 149 mg/L ; ortho-P 19 % - 90 mg/L ; $\text{NO}_2 + \text{NO}_3$ négligeables ; P_{LM} 20 mg P/mg MVES x 100 et N_{LM} 73 mg N/mg MVES x 100. Le pH de l'effluent traité est de 9.1 avec des teneurs en MES de 495 mg/L. Le ratio F/M moyen est de 0,6. Les concentrations moyennes de ST, STV, MES et MVES dans le RBS pour la même période sont respectivement de : 11 400, 6 000, 6 510 et 3 623 mg/L, avec un IVB moyen de 40 mL/g, un TRS moyen de 29 jours et une charge volumique de moyenne 2 kg DCO/m³/j. Les taux d'enlèvement sont légèrement supérieurs à ceux obtenus avec un TRH de 2,5 jours (mois de septembre), mais sont encore très faibles.

Les solutions entreprises suite aux faibles résultats obtenus ont été : 1) Réduire le pH dans le RBS et de le maintenir à moins de 8.5 pour favoriser la croissance des autotrophes. Pour cela la LM du RBS a été acidifié avec de l'acide sulfurique 1N jusqu'à pH 7.6. Afin que le pH au début de chaque cycle soit abaissé légèrement dans le réacteur, en vue de la hausse provoquée par la phase d'aération, l'affluent a été acidifié quotidiennement à un pH variant entre 5 et 6 ; 2) Une partie du volume de la LM a été remplacée par 1 L de boues activées secondaires (MES 1 500 mg/L) provenant d'un système RBS municipal situé à St-Nicolas (Québec) ; 3) L'affluent a été dilué par deux pour réduire l'ammonium dans le système ; 4) Le TRH a été conservé à 9 jours tant que les taux d'enlèvement de la DCO et du NH_4 n'ont pas été améliorés, puis le TRH a été abaissé progressivement.

Tableau 3 Bilan des modifications apportées au RBS pendant l'acclimatation de la biomasse

1-10-98	<i>Notes</i>	<i>Problème de mauvaise séparation des phases liquide et solide depuis le démarrage du RBS. En microscopie floccs compacts et bactéries libres en grandes quantités.</i>
	<i>Modifications</i>	Modification du Va en vue d'abaisser le ratio F/M Va initial de 2 L/j diminuée à 0.5 L/j F/M désiré entre 0.2 et 0.3 F/M calcul: $10000 \times 0,5 / (3800 \times 4,5) = 0,3$ TRH = $4,5 / 0,5 = 9$ j au lieu de 2.5 j initial
9-10-98	<i>Notes</i>	<i>Problème de mauvaise séparation des phases liquide et solide et lessivage graduel de la biomasse.</i>
	<i>Modifications</i>	Ajout d'un flocculant le Percol 757, 45 mL dans le RBS à 10000 ppm de concentration, donc 100 ppm.
13-10-98	<i>Notes</i>	<i>Suite à l'ajout de Percol, il y a des petits agrégats dans la LM, mais les échantillons de LM et d'effluent sont maintenant très difficiles à filtrer. La MES a augmenté de 6730 à 10354 mg/L due à une meilleure floculation des bactéries.</i>
16-10-98	<i>Notes</i>	<i>L'effet de l'ajout de Percol est terminé, car la MES est descendue à 5074 mg/L. Cependant, les ST dans la LM sont de 11 g/L, donc les bactéries sont présentes mais ne flocculent pas bien.</i>
	<i>Modifications</i>	La forte agitation provenant d'une aération excessive peut être la cause de la défloculation, donc l'aération a été diminuée.
19-10-98	<i>Notes</i>	<i>L'aération a été trop diminuée et l'O.D. dans la LM est de 0.6 mg/L, on la remonte donc progressivement.</i>
21-10-98	<i>Notes</i>	<i>Les ST sont de 12 g/L et la MES de 3,4 g/L, donc il n'y a toujours pas de floculation des bactéries dispersées. Plusieurs paramètres peuvent être la cause de cette non-floculation dont l'agitation excessive et le pH très élevé dans la LM ~9,2 (provenant du dégazage de CO₂ pendant la phase d'aération). Après réception de l'électrode spécifique NH₄, nous avons mesuré des concentrations très élevées en ammonium (~2000 mg/L dans l'affluent) ce qui a pu inhibé la sécrétion de biopolymères (polysaccharides) par les bactéries pour la floculation et la nitrification de l'ammonium par les bactéries nitrifiantes autotrophes, qui sont aussi sensibles au pH en outre, le MEF recommande des conc. inférieures à 500 ppm dans un affluent pour les traitements par boues activées.</i>
	<i>Modifications</i>	Acidification du RBS à pH 7.6 et acidification constante (à l'avenir) de l'affluent à pH 6, afin de maintenir un pH final dans le RBS de moins de 8,5.
23-10-98	<i>Notes</i>	<i>Oxygène dissous de 4.5 mg/L, inchangée</i>

Modifications		Réacidification de la LM à pH 7. Enlever un litre de LM et remplacer par des boues activées provenant de la station d'épuration municipale de St-Nicolas (MES 1500 mg/L), afin de retrouver un mélange adéquat de populations microbiennes, dont les bactéries autotrophes nitrifiantes. Afin d'abaisser l'ammonium dans l'affluent, il sera dilué 2 fois à l'avenir. Le TRH est maintenu à 9 jours et si le RBS recouvre rapidement un fonctionnement stable et efficient, le TRH sera abaissé à 5 ou 6 jours.
26-10-98	Notes	<i>Les ST augmentent progressivement dans le réacteur:</i> 26-10-98: MES 5994mg/L (ST 13,3 g/L) 28-10-98: MES 8375mg/L (ST 14,7 g/L) 30-10-98: MES 6680mg/L (ST 16,0 g/L)
3-11-98	Notes	<i>Le pH du RBS se maintient à 8.3 en fin de traitement. Oxygène dissous de 6 mg/L.</i>

Les changements effectués ont été majeurs, mais cela a permis l'observation d'une amélioration rapide de l'efficacité de traitement du lisier. En effet, le pH s'est relativement maintenu à 8.3 dans la LM en fin de traitement, avec une acidification de l'affluent, les concentrations moyennes en N ont diminué : NH_4 1 581 mg/L et TKN 1 742 mg/L (voir Tableau 2), les ST ont augmenté de 11 à 16 g/L (30-10-98) et l'enlèvement de la DCO totale a atteint 94 % le 2-11-98. En effet, la séparation des phases solide et liquide dans la LM s'est beaucoup améliorée, l'effluent traité était moins laiteux, plus translucide et se filtrait plus facilement. Cependant, deux semaines après les changements du 22-10-98, l'ammonium était encore élevé dans l'effluent (1 373 mg/L le 2-11-98), ce qui indique encore une absence de nitrification. Le TRH a donc été maintenu à 9 jours jusqu'à l'atteinte de meilleurs taux d'enlèvement de l'ammonium.

4.2 PHASE 2 : VARIATION DU TRH

4.2.1 Effet de la variation du TRH sur l'enlèvement biologique des nutriments

L'objectif majeur du projet étant de réaliser le traitement efficace du lisier séparé en système RBS, un des paramètres important à considérer est le TRH. En effet, des études ont porté sur l'optimisation du traitement du lisier séparé, ils ont obtenu des taux d'enlèvement de la DCO, du TKN et du P_{total} supérieurs à 90 %, cela en opérant à des TRH élevés : 10 jours (Bortone *et al.*,

1992) et 17,5 jours (Bicudo et Svoboda, 1995). En outre, une étude réalisée en 1991 par Fernandes et McKyes a démontré que les taux d'enlèvement de la DCO et du TKN chutent drastiquement lorsque le TRH est diminué de 5 à 3 jours. Leurs travaux ont aussi montré que le TRS optimal pour le traitement en RBS de la phase liquide du lisier séparé se situe autour de 20 jours.

Le TRH a été diminué de 9 à 6 jours après stabilisation du système. Les taux d'enlèvement des nutriments atteints après onze semaines de fonctionnement du RBS à un TRH de 9 jours, associés aux concentrations résiduelles à l'effluent sont les suivants (jour 77, 23-11-98) : DCO 91,3 % - 1 568 mg/L ; TKN 52,6 % - 1 053 mg/L ; NH_4 50,7 % - 915 mg/L ; P_{total} 64,9 % - 99 mg/L ; ortho-P 57,4 % - 97 mg/L ; $\text{NO}_2 + \text{NO}_3$ 0,35 mg/L ; P_{LM} 10 mg P/mg MVES x 100 et N_{LM} 40 mg N/mg MVES x 100. Le pH de l'effluent traité était de 8,5, avec des teneurs en MES et MVES de 470 et 405 mg/L respectivement.

L'enlèvement de la pollution carbonée ayant atteint plus de 90 % était satisfaisant, par contre la non nitrification empêchait d'atteindre des taux d'enlèvement de l'azote totale et ammoniacale de plus de 52 %. Le taux de croissance d'une population nitrifiante est lent et la présence de ces bactéries n'a pas été obtenue après trois mois de fonctionnement. L'azote contenu dans la boue (40 %, Figure 7) est principalement enlevé par utilisation par la biomasse (environ 12 %, ce qui correspond à la teneur en N dans une cellule bactérienne $\text{C}_5\text{H}_7\text{NO}_2\text{P}_{1/12}$) et l'autre fraction est précipitée avec la boue. Au jour 79 (25-11-98), le TRH a été diminué à 6 jours puis à 4 jours (jour 92, 7-12-98), cela en tenant compte des délais de réalisation du projet de quatre mois.

4.2.2 Variations des MES, MVES, IVB et ratio F/M

Les concentrations en MES à l'effluent étaient généralement inférieures à 1 500 mg/L pour la période d'opération, par contre les teneurs minimales ont été observées à un TRH de 9 jours (moyenne de 442 mg/L) (Figure 4a). Les concentrations en MVES dans la LM ont beaucoup varié pendant la période d'acclimatation du RBS, puis se sont maintenues entre 5 et 7 g/L par la suite (Figure 4b). L'IVB était inférieur à 100 mL/g jusqu'à ce qu'un système de recirculation de la LM soit installé au jour 65 le 11-11-98 (Figure 4c). En effet, l'aération seule ne suffisait pas à créer un mélange complet dans le réacteur et le mélange par agitation était peu réalisable vu le faible diamètre du RBS et la présence de tubes flexibles le long de la paroi interne pour l'aération

et l'alimentation. Par conséquent, un mélange par recirculation lente de la liqueur mixte a été retenu, consistant en un soutirage à la base du RBS et un transfert par l'ouverture au sommet de la colonne, cela pendant l'alimentation et la phase aérobie seulement. Ce procédé a pu défloculer la boue et a entraîné une augmentation de l'IVB (mauvaise séparation des phases liquide-solide) jusqu'à environ 140 mL/g. Un faible mélange par agitation à pales corrigerait ce problème et permettrait un mélange complet de la biomasse et une bonne décantation des floccs à la fin du traitement.

Le ratio F/M a varié pendant la phase d'acclimatation selon la composition du lisier séparé et la croissance microbienne, il s'est maintenu en moyenne à 0,4 mg DCO/mg MVES/jour pendant les trois premiers mois et s'est élevé à 0,6 pendant les essais à des TRH de 6 et 4 jours (Figure 4d). Il est cependant préférable de maintenir le ratio F/M à moins de 0,5, afin d'éviter la croissance de bactéries filamenteuses lorsque le ratio substrat sur micro-organismes est élevé. Les valeurs les plus élevées, rencontrées à des TRH de 4 et 6 jours, peuvent être causées par une augmentation du volume d'affluent dans le RBS. La population microbienne devrait s'accroître avec un substrat plus abondant ce qui maintiendrait le rapport F/M inférieur à 0,5. Donc, si le ratio est trop élevé l'atteinte de taux d'enlèvement optimaux sera difficile à réaliser.

4.2.3 Enlèvement de la DCO

Les taux d'enlèvement de la DCO ont peu été influencés par la variation du TRH entre 4 et 9 jours, l'enlèvement moyen de la DCO se situant entre 86 et 88 % pour tous les TRH étudiés avec un maximum de 91 % atteint à un TRH de 9 jours (Figure 2a, Tableau 4). Noter que la présence de MES dans l'effluent entraîne une augmentation de la DCO totale et donc un taux d'enlèvement inférieur à celui de la DCO filtrée.

Les Tableaux 4 et 5 présentent les taux d'enlèvement moyens et finaux obtenus pour chaque TRH étudié, les concentrations moyennes en P et N de la LM et les teneurs résiduelles en nutriments à l'effluent pour chaque TRH.

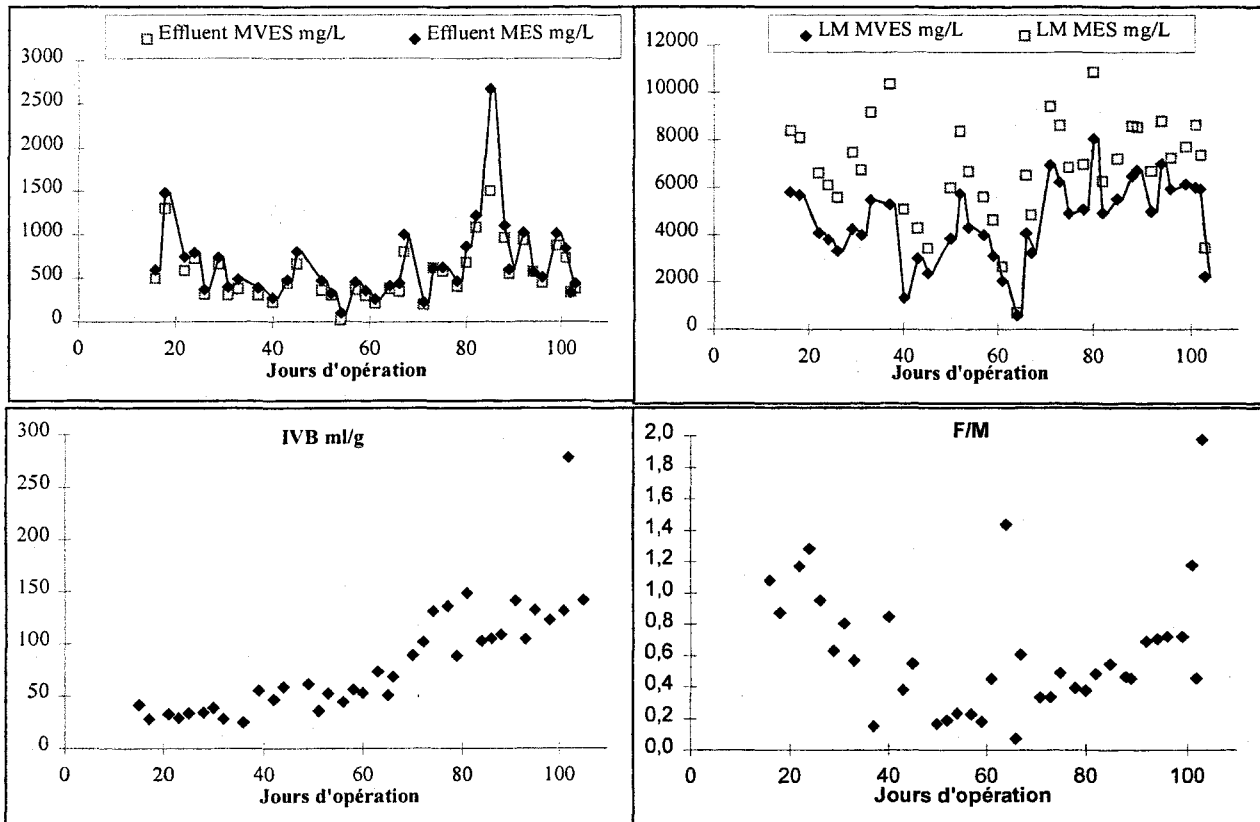


Figure 4 Teneurs en MES, MVES à l'effluent et dans la LM, IVB et ratio F/M. TRH: 2.5j: jours 1 à 25; 9j: jours 26 à 78; 6j: jours 79 à 91; 4j: jours 92 à 105

Tableau 4 Rendement d'enlèvement des nutriments et teneurs en P et N de la liqueur mixte à différents TRH

Paramètres		TRH (jours)		
		9	6	4
DCO (%)	Moyen	88,2	87,3	85,9
	Final	91,3	88,6	83,6
TKN (%)	Moyen	28,7	50,3	36,8
	Final	52,6	53,6	48,6
NH ₄ (%)	Moyen	31,4	50,8	57,7
	Final	50,7	71,1	80,7
P _{total} (%)	Moyen	33,5	56,4	50,6
	Final	64,9	54,6	52,1
PO ₄ (%)	Moyen	37,6	56,2	62,2
	Final	57,4	69,0	58,9
P _{ML} (mg P/mg MVES x 100)	Final	10,0	12,0	8,2
N _{ML} (mg N/mg MVES x 100)	Final	40,1	37,8	32,5

Tableau 5 Concentrations résiduelles moyennes (mg/L) en nutriments, MES et MVES dans l'effluent du RBS

Paramètres	TRH (jours)		
	9	6	4
DCO	1 568	2 370	2 920
TKN	1 053	1 049	664
NH ₄	915	595	338
NO ₃	0,4	43,5	87,1
P _{total}	98,8	129,6	132,6
PO ₄	97,2	84,6	100,5
MES	470	1 032	1 624
MVES	405	944	1 306
pH	8,5	8,4	7,5

4.2.4 Enlèvement de l'azote

Les taux d'enlèvement du TKN et de l'ammonium sont influencés par la variation du TRH, mais dépendent aussi du taux de nitrification de l'ammonium et des teneurs en N dans l'affluent (Figures 3b, c). Comme le processus de nitrification était inexistant pendant les trois premiers mois, les rendements d'enlèvement de l'ammonium étaient inférieurs à 60 % (Figure 2f), puis au jour 91 la nitrification a débuté (Figure 2b). Comme le TRH a été diminué de 6 à 4 jours le jour suivant (jour 92), cela a affecté négativement de façon temporaire l'enlèvement de l'ammonium, mais la nitrification augmentant (Figure 2b) l'enlèvement du NH₄ a progressivement augmenté jusqu'à atteindre 81 % au dernier jour d'opération (Figure 2f). La nitrification était presque nulle pendant les trois premiers mois d'opération et a augmenté jusqu'à 158 mg NO₃/L pendant les deux dernières semaines d'opération.

La Figure 5a montre la relation entre les taux d'enlèvement moyens et à l'état stable de la DCO et le TRH. Les taux d'enlèvement moyens de la DCO sont très semblables (entre 86 et 88 %), cependant les états finaux des taux d'enlèvement de la DCO sont plus élevés à 6 et à 9 jours. Cela est probablement attribuable à une augmentation des MES dans l'effluent à un TRH de 4 jours (Tableau 4b). Par contre, les taux d'enlèvement moyens et finaux de l'ammonium sont plus élevés à un TRH de 4 jours (Figure 4b). La nitrification de l'ammonium à partir du jour 91 a certainement contribué à l'amélioration des taux d'enlèvement de l'N (Figure 6). Un enlèvement final de 81 % à un TRH de 4 jours et avec une teneur de 1 748 mg/L de NH_4 dans l'affluent est très intéressant pour le développement des travaux futurs. Les résultats de Fernandes et McKyes (1991) concernant l'enlèvement de l'ammonium dans leur système atteignaient environ 70 % à un TRH de 5 jours et moins de 35 % à un TRH de 3 jours. De même qu'un taux d'enlèvement passant de 94 à 81 % pour la DCO lorsque le TRH a été diminué de 5 à 3 jours.

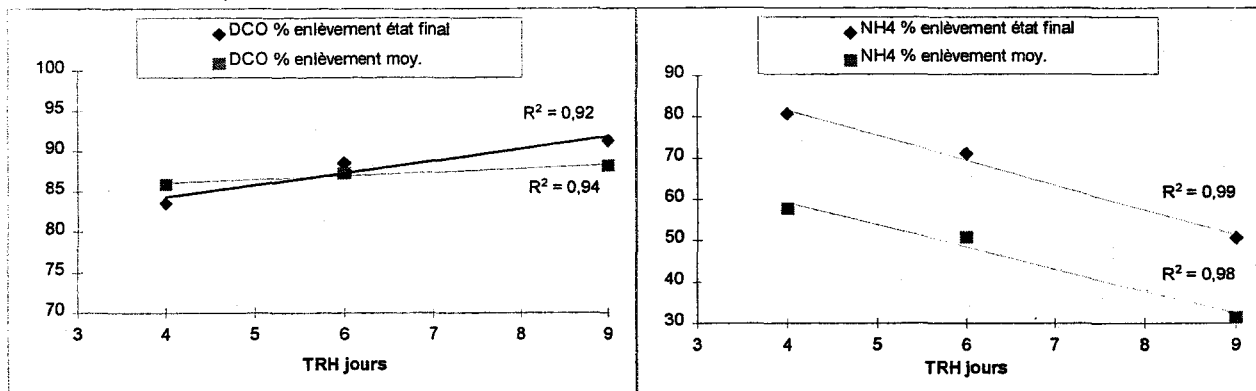


Figure 5 Relation entre les taux d'enlèvement de la DCO, du NH_4 et le TRH

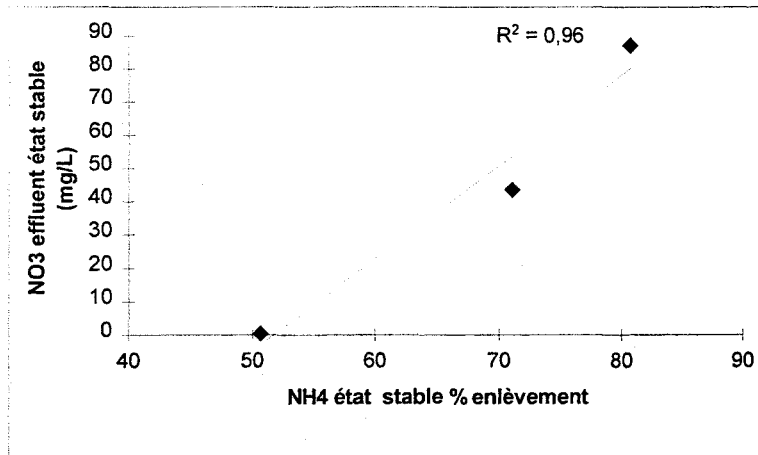


Figure 6 Relation entre le taux d'enlèvement de l'ammonium et la teneur en nitrates à l'effluent

4.2.5 Enlèvement du phosphore

L'efficacité de l'enlèvement du P a varié beaucoup pendant la période d'opération du RBS (Figures 2e, f). En outre, la composition en P de l'affluent a aussi fluctué selon les cuvées de lisier séparé utilisées (Figures 3d, e, Tableau 2). En conséquence, un enlèvement moyen de 50 à 60 % du P, pour les TRH de 4 et 6 jours, lorsque les concentrations à l'affluent sont très élevées (entre 250 et 300 mg/L) est tolérable. L'enlèvement du P dépend aussi de la capacité d'adsorption du P par la boue, car une grande partie du P est précipitée. En effet, les bactéries ont besoin de 2 % de P dans leur cellule par poids sec (teneur normale en $P_{\text{organique}}$ d'une biomasse). Les teneurs en P de la LM ayant variées entre 6 et 12 % (mg P/mg MVES *100) montrent qu'un pourcentage majoritaire du P dans la boue provient de la précipitation, qui dépend du pH et de l'alcalinité de la boue (Figure 7).

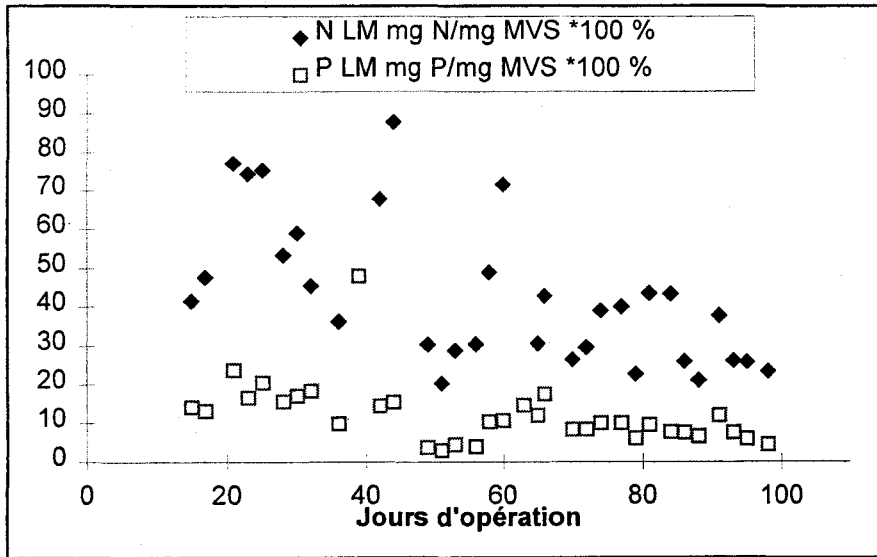
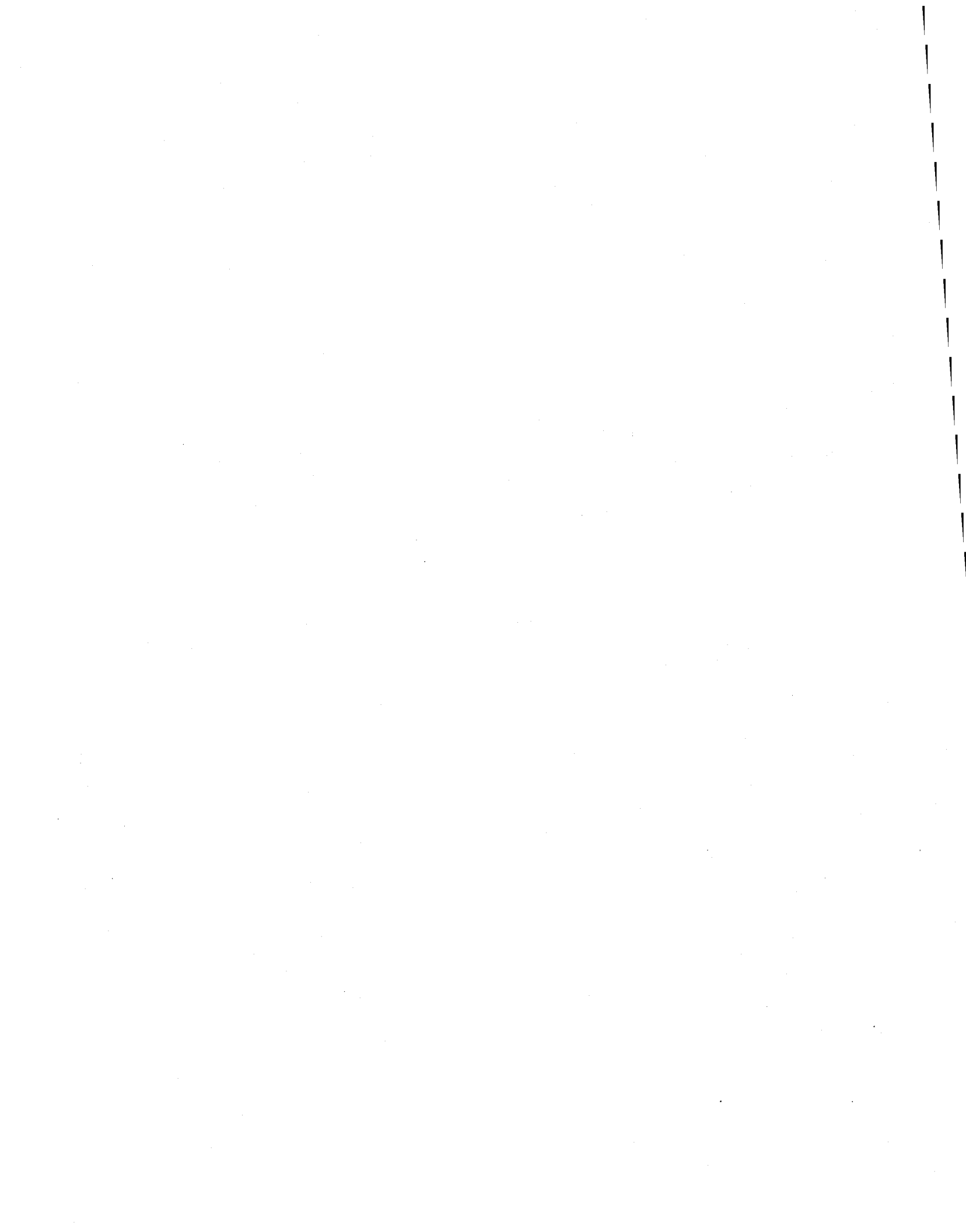


Figure 7 Teneurs en P et en N dans la LM pendant la période d'opération du RBS



5. CONCLUSION

En conclusion, le traitement du lisier de porc séparé physiquement est réalisable dans un système RBS anoxie/anaérobie/aérobie opéré à un TRH inférieur à 9 jours. Ce type de traitement permet l'enlèvement efficace de la pollution carbonée (entre 86 et 88 % en moyenne pour des TRH de 4, 6 et 9 jours) et de la pollution azotée. En effet, des rendements d'enlèvement de l'ammonium d'environ 80 % ont été atteints même à un TRH de 4 jours. Par contre, l'enlèvement du P est plus problématique, des taux moyens entre 50 et 60 % ont été obtenus à des TRH de 4 et 6 jours, car la teneur en P dans l'affluent est très élevée (~300 mg/L en P_{total}).

La nitrification de l'ammonium s'est produite dans le RBS après trois mois de fonctionnement, cela après ajustement et contrôle du pH dans le RBS en moyenne de 8,3 (qui était auparavant entre 8,8 et 9,2) ; ajout d'un système de recirculation, ce qui a permis un mélange plus efficace dans le RBS et une meilleure suspension des floccs microbiens ; un contrôle serré de la concentration en oxygène dissous dans la colonne, afin d'éviter une déficience en oxygène pour la population autotrophe nitrifiante. L'opération du RBS dans des conditions qui favorisent la survie des bactéries nitrifiantes dans le RBS est très importante, car ces dernières permettent l'enlèvement de l'ammonium en excès des besoins en N organique des cellules et de la capacité d'adsorption de la boue. L'accumulation sans limite de nitrates dans le système est réduite par une dénitrification en début de traitement (zone en anoxie). La concentration de nitrates mesurée à l'effluent à chaque fin de traitement correspond donc à la quantité d'ammonium qui a été transformée pendant la phase aérobie.

Il est certain qu'il y a place à l'amélioration dans ce type de traitement, mais dans l'esprit d'un traitement global permettant la récupération d'un résidu solide contenant en moyenne 6.6 % en ST et d'une partie liquide dont la DCO est réduite à 90 % et l'ammonium à 80 % avec un TRH de seulement 4 jours et que celle-ci pourra servir comme eau d'irrigation, les résultats obtenus sont très probants et prometteurs.

6. ACTIVITÉS FUTURES ET RECOMMANDATIONS

Les expérimentations réalisées à l'automne 1998 sur le traitement en RBS de la fraction liquide du lisier séparé ont permis d'évaluer le procédé à l'étude. Quelques améliorations subsistent et permettront lors de la poursuite des travaux d'obtenir des taux d'enlèvement des nutriments supérieurs.

1. Utiliser un RBS avec un diamètre plus large et laisser un volume libre plus important pour les débordements et le moussage.
2. Instaurer un système de mélange à pales en maintenant la vitesse du rotor très lente, un mélange complet est nécessaire, mais un mélange trop intensif crée une défloculation.
3. Maintenir la DCO constante entre les différentes cuvées de lisier séparé utilisées, en fixant une DCO de travail et en diluant avec de l'eau si nécessaire.
4. Maintenir la concentration en oxygène dissous au minimum à 3 mg/L pour favoriser la croissance d'une population nitrifiante.
5. Assurer un contrôle du TRS stable par un soutirage quotidien de la LM manuel ou automatisé.
6. Récolter des échantillons pendant un cycle d'opération par TRH étudié, cela environ à toutes les une ou deux heures pendant les 24 heures du cycle.

Enfin, il serait intéressant d'étudier la variation dans les rendements à des températures d'opération plus basses que 20°C, simulant les variations saisonnières observées au Québec.



RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Agriculture et Agroalimentaire Canada (1998) *Stratégie de recherche sur la gestion du lisier de porc au Canada*. Direction générale de la recherche.
- APHA, AWWA et WPCF (1992) *Standards Methods for Examination of Water and Wastewaters*. 18e éd., Am. Public Health Assoc., Washington, DC, États-Unis.
- Bicudo J.R. et I.F. Svoboda (1995) Intermittent aeration of pig slurry - farm scale experiments for carbon and nitrogen removal. *Wat. Sci. Technol.* **32(12)**, 83-90.
- Bortone G., S. Gemelli, A. Rambaldi et A. Tilche (1992) Nitrification, denitrification and biological phosphate removal in sequencing batch reactors treating piggery wastewater. *Wat. Sci. Technol.* **26(5-6)**, 977-985.
- Décréon A. et P. Bergevin (1997) Situation actuelle des performances des réacteurs biologiques séquentiels installés dans l'industrie agro-alimentaire. Vision Science, printemps 1997.
- Fernandes L. et E. McKyes (1991) Theoretical and experimental study of a sequential batch reactor treatment of liquid swine manure. *Am. Soc. Agric. Eng.* **34(2)**, 597-602.
- Kellers J., K. Subramaniam, J. Gosswein et P.F. Greenfield (1997) Nutrient removal from industrial wastewater using single tank sequencing batch reactors. *Wat. Sci. Technol.* **35(6)**, 137-144.
- Ministère de l'Environnement et de la Faune (1996a) *Cahier technique de conception pour les réacteurs biologiques séquentiels industrie agro-alimentaire*. Service de l'assainissement des eaux, Direction des politiques du secteur industriel, Gouvernement du Québec.
- Ministère de l'Environnement et de la Faune (1996b) *Guide technique général sur les eaux industrielles*. Service de l'assainissement des eaux, Direction des politiques du secteur industriel, Gouvernement du Québec.
- Smith J.M. (1987) *Design manual: Phosphorus removal*. Environmental Protection Agency US. EPA/625/1-87/001, Cincinnati, Ohio.

ANNEXE

Résultats des essais de traitement du lisier en RBS

RBS Puritech

Date	Jour	Affluent	Affluent	Affluent	Affluent	Affluent	Affluent	Affluent	Affluent	Affluent
		DCO mg/L	TKN mg/L	NH4 mg/L	Pt mg/L	Ortho-P mg/L	MES mg/L	MVES mg/L	pH	Facteur dilution
98-09-22	15	15685,0	2170,2	1850,0	187,5	238,9	39500,0	32500,0	7,2	1
98-09-23	16									1
98-09-24	17	12405,0	3152,6	2674,0	213,0	87,1	179,0	120,0		1
98-09-25	18									1
98-09-26	19									1
98-09-27	20									1
98-09-28	21	11945,0	3236,5	2674,0	236,9	212,2	668,0	516,0	7,4	1
98-09-29	22									1
98-09-30	23	12201,0	2889,8	3108,0	195,4	78,9	3200,0	1800,0	8,20	1
98-10-01	24									1
98-10-02	25	28476,6	3161,0	3133,0	202,4	72,8	376,0	300,0	8,5	1
98-10-03	26									1
98-10-04	27									1
98-10-05	28	24102,0	2748,0	2685,0	180,4	108,2	740,0	467,0		1
98-10-06	29									1
98-10-07	30	28971,5	2906,0	2168,0	223,1	85,0	856,0	578,0	7,5	1
98-10-08	31									1
98-10-09	32	27819,6	3036,0	3096,0	196,1	149,0	322,5	266,0	7,3	1
98-10-10	33									1
98-10-11	34									1
98-10-12	35									1
98-10-13	36	7256,3	2015,8	2035,0	80,8	124,1	600,0	560,0	8,2	1
98-10-14	37									1
98-10-15	38									1
98-10-16	39	9903,7	1724,6	2510,0	59,7	113,0	2118,0	1639,0	8,2	1
98-10-17	40									1
98-10-18	41									1
98-10-19	42	10250,6	1998,8	2700,0	72,5	140,0	1367,0	892,0	7,9	1
98-10-20	43									1
98-10-21	44	11758,1	1855,3		71,7	103,0	517,0	439,0		1
98-10-22	45									1
98-10-23	46								6,9	2
98-10-24	47									2
98-10-25	48									2
98-10-26	49	5826,5	1819,8	1759,3	84,0	62,7	574,0	515,0	7,2	2
98-10-27	50									2
98-10-28	51	9701,5	1836,3	1845,8	75,5		309,0		6,2	2
98-10-29	52									2
98-10-30	53	8980,4	1869,7	1493,1	68,7	78,8	250,0	180,0	6,9	2
98-10-31	54									2
98-11-01	55									2
98-11-02	56	8182,1	1694,7	1473,1	61,0	69,4	220,0	176,0	6,0	2
98-11-03	57									2
98-11-04	58	5008,4	1420,0	1333,4	67,0	60,6	341,0	322,0	7,1	2
98-11-05	59									2
98-11-06	60	8209,9	1498,0	1761,3	80,3	70,6	148,0	112,0	5,1	2
98-11-07	61									2
98-11-08	62									2
98-11-09	63	7458,2	1590,0	1045,4	86,0	67,8	150,0	143,0	5,1	2
98-11-10	64									7
98-11-11	65	2586,3	412,7	387,0	20,2	21,3	40,0	40,0	5,0	7
98-11-12	66	17533,4	2455,7	1330,6	287,1	175,7	877,0	748,0	5,0	7
98-11-13	67									7
98-11-14	68									2
98-11-15	69									2
98-11-16	70	20874,2	3034,5	1375,0	382,9	227,0	1641,0	1241,0	5,5	2
98-11-17	71									2
98-11-18	72	18693,7	2352,6	1931,7	246,2	219,6	540,0	506,0	5,2	2
98-11-19	73									2
98-11-20	74	21474,6	2416,9	1823,0	324,5	218,2	550,0	485,0	5,5	2
98-11-21	75									2
98-11-22	76									2
98-11-23	77	17975,2	2222,5	1857,7	281,4	228,3	344,0	300,0	5,0	2
98-11-24	78									2
98-11-25	79	18116,0	2611,3	1440,5	268,2	227,6	344,0	295,0	5,4	2
98-11-26	80									2
98-11-27	81	14395,0	1952,0	1772,1	173,4	200,0	230,0	214,0	5,1	2
98-11-28	82									2
98-11-29	83									2
98-11-30	84	18003,0	1987,1	1360,0	335,4	236,2	456,0	404,0	5,2	2
98-12-01	85									2
98-12-02	86	18003,0	1987,0	1360,0	335,4	236,2	456,0	404,0	5,2	2
98-12-04	88	18342,0	1933,6	1828,4	285,6	304,2	333,0	267,0	5,0	2
98-12-05	89									2
98-12-06	90									2
98-12-07	91	20718,0	2260,0	2060,5	285,6	273,4	220,0	180,0	5,0	2
98-12-08	92									2
98-12-09	93	19788,0	2018,2	672,5	291,0	245,8	140,0	125,0	5,5	2
98-12-10	94									2
98-12-11	95	17133,0	1311,3	1010,2	324,6	241,7	2918,0	2631,0	6,5	2
98-12-12	96									2
98-12-13	97									2
98-12-14	98	17708,0	1580,0	1747,5	283,8	252,9	216,0	216,0	5,1	2
98-12-15	99									2
98-12-16	100	28235,7	1292,4	1640,0	277,2	238,1	455,0	410,0	6,9	2
98-12-17	101	10734,1		1640,0		183,9	250,0	250,0	6,0	2
98-12-18	102	17662,2		1597,5		229,0	266,0	245,0	5,8	2
98-12-19	103									2
98-12-20	104									2
98-12-21	105	17770,4		1747,5		244,5	564,0	488,0	5,0	2

RBS Purintech

Date	Jour	Age boues jours	Purge LM m ³ /jour	Charge vol. kg DCO/m ³ /	F/M	TRH %
98-09-22	15	18	0,10	6,27	1,08	2,5
98-09-23	16					
98-09-24	17	9	0,10	4,96	0,87	2,5
98-09-25	18					
98-09-26	19					
98-09-27	20					
98-09-28	21	13	0,10	4,78	1,17	2,5
98-09-29	22					
98-09-30	23	10	0,10	4,88	1,28	2,5
98-10-01	24					
98-10-02	25	30	0,10	3,16	0,95	9,0
98-10-03	26					
98-10-04	27					
98-10-05	28	25	0,10	2,68	0,63	9,0
98-10-06	29					
98-10-07	30	32	0,10	3,22	0,80	9,0
98-10-08	31					
98-10-09	32	33	0,10	3,09	0,57	9,0
98-10-10	33					
98-10-11	34					
98-10-12	35					
98-10-13	36	35	0,10	0,81	0,15	9,0
98-10-14	37					
98-10-15	38					
98-10-16	39	30	0,06	1,10	0,85	9,0
98-10-17	40					
98-10-18	41					
98-10-19	42	34	0,06	1,14	0,38	9,0
98-10-20	43					
98-10-21	44	13	0,20	1,31	0,55	9,0
98-10-22	45					
98-10-23	46					9,0
98-10-24	47					
98-10-25	48					
98-10-26	49	31	0,10	0,65	0,17	9,0
98-10-27	50					
98-10-28	51	36	0,10	1,08	0,19	9,0
98-10-29	52					
98-10-30	53	44	0,10	1,00	0,23	9,0
98-10-31	54					
98-11-01	55					
98-11-02	56	31	0,10	0,91	0,23	9,0
98-11-03	57					
98-11-04	58	30	0,10	0,56	0,18	9,0
98-11-05	59					
98-11-06	60	30	0,10	0,91	0,45	9,0
98-11-07	61					
98-11-08	62					
98-11-09	63	10	0,10	0,83	1,44	9,0
98-11-10	64					
98-11-11	65	31	0,10	0,29	0,07	9,0
98-11-12	66	20	0,10	1,95	0,61	9,0
98-11-13	67					
98-11-14	68					
98-11-15	69					
98-11-16	70	24	0,17	2,32	0,33	9,0
98-11-17	71					
98-11-18	72	20	0,17	2,08	0,33	9,0
98-11-19	73					
98-11-20	74	20	0,17	2,39	0,49	9,0
98-11-21	75					
98-11-22	76					
98-11-23	77	21	0,17	2,00	0,39	9,0
98-11-24	78					
98-11-25	79	20	0,17	3,02	0,37	6,0
98-11-26	80					
98-11-27	81	14	0,17	2,40	0,49	6,0
98-11-28	82					
98-11-29	83					
98-11-30	84	12	0,17	3,00	0,54	6,0
98-12-01	85					
98-12-02	86	22	0,10	3,00	0,46	6,0
98-12-04	88	29	0,10	3,06	0,45	6,0
98-12-05	89					
98-12-06	90					
98-12-07	91	15	0,17	3,45	0,69	6,0
98-12-08	92					4,0
98-12-09	93	16	0,17	4,95	0,71	4,0
98-12-10	94					
98-12-11	95	21	0,12	4,28	0,72	4,0
98-12-12	96					
98-12-13	97					
98-12-14	98	16	0,12	4,43	0,72	4,0
98-12-15	99					
98-12-16	100	17	0,12	7,06	1,18	4,0
98-12-17	101	23	0,12	2,68	0,45	4,0
98-12-18	102	14	0,12	4,42	1,98	4,0
98-12-19	103					
98-12-20	104					
98-12-21	105	11	0,12	4,44	0,88	4,0

