

ÉVALUATION DU PROCÉDÉ DE TRAITEMENT DU LISIER SEQUENCIA

Rapport final présenté pour le

PROGRAMME DE RECHERCHE ET D'ADAPTATION TECHNOLOGIQUES SUR LE TRAITEMENT DES FUMIERS

PROJET CORPAQ N° : 703024

Rapport final présenté par



PROJET IRDA N° : 140124

Jean-Pierre Larouche, chimiste, responsable scientifique du projet, IRDA

Yves Martineau, agr., M.Sc., Directeur division environnement, Aliments Breton inc.

Frédéric Pelletier, ing., M.Sc., IRDA

François Léveillée, technicien en agroenvironnement, IRDA

JANVIER 2005

LISTE DES PARTICIPANTS

Jean-Pierre Larouche, chimiste, responsable scientifique du projet, IRDA

Yves Martineau, agr., M.Sc., Directeur division environnement, Aliments Breton inc.

Frédéric Pelletier, ing., M.Sc., IRDA

François Léveillée, technicien en agroenvironnement, IRDA

Roch Joncas, ing., agr., M.Sc., Directeur scientifique adjoint, IRDA

Marc R. Laverdière, agr., Ph.D., Directeur scientifique, IRDA

Ce projet de recherche a été réalisé grâce à une aide financière accordée dans le cadre du Programme de recherche et d'adaptation technologiques sur le traitement des fumiers du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec.

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES PARTICIPANTS	2
TABLE DES MATIÈRES.....	3
LISTE DES TABLEAUX.....	5
LISTE DES FIGURES	5
INTRODUCTION.....	6
1 DESCRIPTION DU PROCÉDÉ SEQUENCIA	8
1.1 Alimentation du système de traitement	9
1.2 Séparation mécanique.....	9
1.3 Séparation chimique	9
1.4 Traitement biologique	9
2 ADDITIFS AU PROCÉDÉ SEQUENCIA	11
2.1 Les produits utilisés dans le procédé Sequencia	11
2.1.1 Coagulant.....	11
2.1.2 Floculant.....	12
2.2 L'utilisation des polymères et l'environnement	12
2.2.1 Toxicité des polymères.....	12
2.2.2 Mécanismes de dégradation des acrylamides polymérisés	13
3 STRATÉGIE D'ÉCHANTILLONNAGE.....	14
3.1 Échantillonnage des fractions liquide et solide	14
3.2 Échantillonnage des gaz	14
3.3 Paramètres d'échantillonnage.....	14
4 MÉTHODOLOGIE	16
4.1 Détermination des débits volumiques	16
4.2 Détermination des débits massiques.....	16
4.3 Détermination des débits de ventilation	17
4.4 Prélèvement des échantillons	17

4.5	Analyses agronomiques des échantillons	18
4.6	Analyses biologiques des échantillons	19
4.7	Analyses environnementales	19
4.8	Analyses des échantillons gazeux	20
5	PRÉSENTATION ET DISCUSSION DES RÉSULTATS.....	21
5.1	Détermination des débits	21
5.1.1	Débits volumiques des unités de séparation.....	21
5.1.2	Débits volumiques du procédé de traitement biologique	22
5.1.3	Débits massiques des unités de séparation	23
5.1.4	Débits de ventilation du bâtiment.....	23
5.2	Caractérisation des échantillons	24
5.2.1	Échantillons liquides et solides	24
5.2.2	Rejets gazeux.....	26
5.2.3	Analyse des éléments toxiques en traces.....	27
5.2.4	Analyse des dioxines et des furannes	28
5.3	Calculs des bilans massiques.....	29
5.3.1	Séparateur sur tamis	29
5.3.2	Séparateur à air dissous	30
5.3.3	Traitement biologique	31
5.3.4	Bilan massique global du procédé Sequencia	33
CONCLUSION	36	
REMERCIEMENTS	37	
BIBLIOGRAPHIE	38	
TRANSFERT DES RÉSULTATS	40	
DIFFUSION DES RÉSULTATS	40	
ANNEXES	41	

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Débits moyens de lisier brut tamisé (m ³ /h).....	21
Tableau 2 : Débits volumiques moyens autour du traitement biologique (L/h)	22
Tableau 3 : Débits massiques moyens (kg/h)	23
Tableau 4 : Fraction massique du solide séparé de la boue.....	23
Tableau 5 : Débits de ventilation du bâtiment (m ³ /h)	23
Tableau 6 : Résultats d'analyse moyens des trois essais.....	24
Tableau 7 : Analyse des gaz évacués du bâtiment (ppm)	26
Tableau 8 : Concentration des éléments toxiques analysés (ppm)	27
Tableau 9 : Détermination des dioxines et des furannes chlorés	28

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Chaîne de traitement Sequencia.....	8
Figure 4 : Coagulant cationique.....	11
Figure 5 : Floculant cationique	12
Figure 6 : Suivi des débits autour des unités de séparation pour l'essai 1	21
Figure 7 : Débits autour du traitement biologique pour l'essai 2	22
Figure 8 : Performances du séparateur sur tamis	29
Figure 9 : Performances du séparateur à air dissous	30
Figure 10 : Performances du traitement biologique	32
Figure 11 : Performances du procédé Sequencia.....	34

INTRODUCTION

La production porcine occupe une place importante dans l'agriculture québécoise. En effet, selon des statistiques de l'année 2001, le produit intérieur brut (PIB) généré par les activités de l'industrie du porc (production et transformation) est estimé à 1,45 milliards de dollars. De plus, l'ensemble de la filière porcine créait en 2001 de l'emploi pour 28 716 personnes annuellement, même en excluant la commercialisation, la distribution et la vente au détail (AGÉCO, 2002). Cependant, tel que démontré par la tenue d'une Commission d'enquête du Bureau d'audiences publiques sur l'environnement (BAPE), les populations sont de plus en plus préoccupées par les impacts de la production porcine (BAPE, 2003). Ainsi le développement et l'utilisation de nouveaux systèmes de production et particulièrement les technologies de traitement des lisiers sont devenus essentiels pour permettre la cohabitation harmonieuse avec les autres utilisateurs du territoire et assurer le développement et l'avenir de la production porcine.

En 1996, plusieurs organisations liées au secteur porcin ont entrepris la réalisation du Plan agroenvironnemental de la production porcine dans le cadre duquel un groupe de travail multidisciplinaire nommé « Transfert technologique » (GTT) a été mis en place pour identifier et évaluer les technologies les plus prometteuses en matière de gestion et de traitement des lisiers. Pour réaliser son mandat, le GTT a proposé une démarche structurée et élaborée pour évaluer une technologie de traitement. La démarche suggère entre autres l'établissement d'un bilan massique afin de connaître, pour chaque composant de la chaîne de gestion des lisiers, la quantité et la qualité des matières impliquées dans le procédé.

Les premiers travaux du groupe ont permis d'étudier plusieurs concepts proposés par plusieurs promoteurs. Les diverses technologies proposaient soit un traitement complet pour un rejet dans l'environnement, soit un traitement partiel ou soit encore une simple stabilisation. Les étapes de développement des procédés allaient du simple concept théorique aux essais pilotes à plus ou moins grande échelle en passant par les essais en laboratoire (GTT, 1998). Par la suite, le nombre de concepts proposés a diminué et les procédés se sont raffinés. Une deuxième série d'évaluation a été faite sur quelques technologies dont quelques-unes ont fait l'objet de vitrines technologiques et/ou de démonstrations commerciales parmi lesquelles Biofertile, Manurex Purin Pur et Biosor (GTT, 2001).

Au printemps 2003, le groupe Aliments Breton inc. a approché l'Institut de recherche et de développement en agroenvironnement inc. (IRDA) pour participer à l'évaluation de la chaîne de traitement de lisier que le groupe Breton a développée sous le nom Sequencia. Un élément de la chaîne de traitement, alors appelé Procédé Breton, avait déjà été présenté comme technologie de séparation solide/liquide au groupe de travail « Transfert technologique » qui rapportait que les données fournies par le promoteur ne permettaient pas d'évaluer la performance globale du système mais que la technologie présentait un potentiel intéressant pour séparer le phosphore (GTT, 2001).

Suite à cette demande, l'IRDA a proposé de réaliser un bilan massique complet du procédé et a entrepris des démarches pour obtenir du financement de la part du Conseil des recherches en pêche et en agroalimentaire du Québec (CORPAQ) dans le cadre d'un appel de propositions pour 2003 du Programme de recherche et d'adaptation technologiques sur le traitement des fumiers.

L'IRDA estime que le bilan massique ainsi que la caractérisation des matières impliquées dans le procédé permettront de fournir des éléments pour l'évaluation par le groupe de travail « Transfert technologique » afin que le milieu connaisse les performances, de même que le secteur d'application du procédé Sequencia. Une évaluation scientifique approfondie permettra de mieux connaître l'efficacité du système de traitement Sequencia et de le situer par rapport aux autres systèmes de traitement du lisier de porcs. De plus, cette évaluation réalisée par un organisme neutre permettra de bien positionner la technologie et de rassurer les éventuels acquéreurs sur l'efficacité réelle du procédé.

Le présent rapport de projet présente donc une description la plus complète possible du procédé Sequencia qui tient compte de la volonté du concepteur de la technologie de conserver certaines informations sensibles. Par la suite, la stratégie d'échantillonnage est présentée avec les techniques utilisées pour la détermination des débits ainsi que les méthodes de prélèvement et d'analyse des échantillons. Les résultats obtenus ainsi que les calculs de bilans sont présentés et discutés alors que des conclusions aux travaux effectués sont tirées.

1 DESCRIPTION DU PROCÉDÉ SEQUENCIA

La chaîne de traitement de lisier Sequencia, qui a été échantillonnée dans le cadre de ce projet, est exploitée par le groupe Aliments Breton inc. et est installée à la ferme du Renouveau à Saint-Gervais de Bellechasse. Le procédé comprend trois étapes bien distinctes qui sont utilisées indépendamment les unes des autres et qui comprennent plusieurs unités de traitement. Les deux premières étapes permettent la séparation solide / liquide du lisier brut et fournissent la fraction liquide alimentée au traitement biologique de la troisième étape. La séparation solide / liquide est effectuée normalement durant les heures ouvrables de la semaine alors que le traitement biologique est un procédé en boucle continue qui est alimenté de façon discontinue. La figure 1 présente un diagramme d'écoulement schématisé de la chaîne de traitement complète.

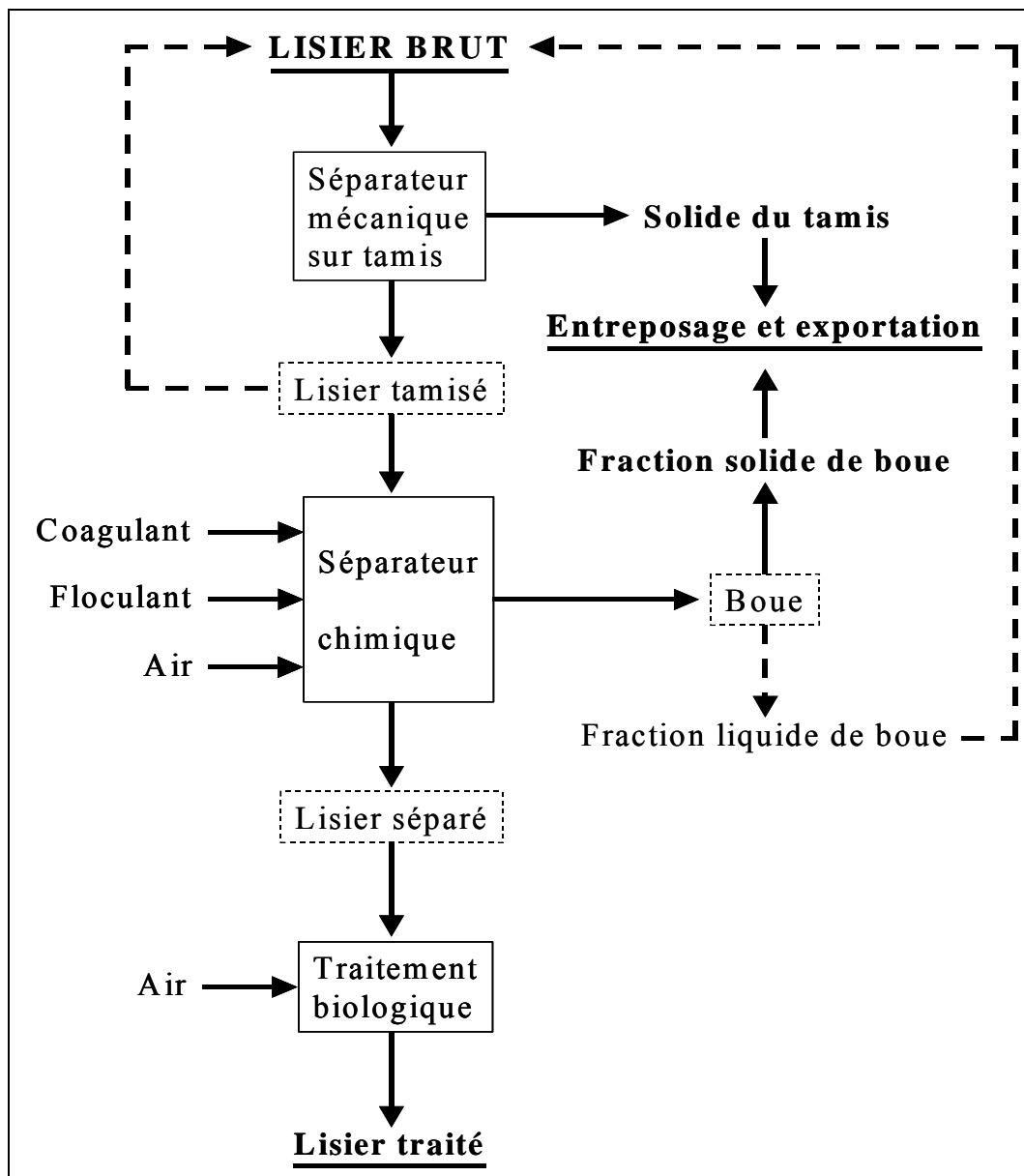


Figure 1 : Chaîne de traitement Sequencia

1.1 Alimentation du système de traitement

Le lisier traité par le procédé Sequencia provient d'une lagune d'une capacité de 441 m³ creusée dans un sol argileux recouvert d'une membrane géotextile imperméable. La lagune est recouverte par un bâtiment en acier et est alimentée en lisier brut par des installations d'élevage abritant au total 4210 porcs à l'engraissement. La pompe qui reprend le lisier dans le fond de la lagune est munie d'un système permettant de hacher légèrement le lisier pompé en plus de maintenir localement le lisier sous agitation.

1.2 Séparation mécanique

La première étape du procédé utilise une presse à rouleaux qui permet une séparation mécanique causée par la pression exercée par le passage successif de rouleaux et de brosses sur un tamis formant la paroi inférieure de la presse. La séparation mécanique permet de retirer une fraction solide grossière qui est déposée dans une structure d'entreposage couverte dédiée aux solides du procédé. La fraction liquide, appelée le lisier brut tamisé, passe par un puits de trop-plein permettant de retourner au réservoir de lisier brut l'excédent de lisier qui doit être utilisé pour obtenir les performances optimales de la séparation sur tamis et pour rencontrer les besoins de production du procédé Sequencia.

1.3 Séparation chimique

À partir du puits de trop-plein, le lisier brut tamisé est alimenté à la deuxième unité de séparation, un séparateur à air dissous, dans lequel sont ajoutés des additifs de coagulation et de floculation qui seront présentés en détail plus loin dans le rapport. La fraction liquide, appelée le lisier séparé, est évacuée à la base du séparateur vers un puits de pompage. Le puits permet d'une part de maintenir la réserve de lisier séparé pour le traitement biologique et d'autre part d'évacuer vers une lagune extérieure l'excédent de lisier séparé qui n'est pas traité par le procédé biologique et qui sera épandu comme source d'azote faible en phosphore. Cette lagune d'irrigation est utilisée pour des considérations de prudence environnementale afin de garder une autre porte de sortie au lisier séparé bien que la totalité puisse être traitée par le système biologique.

La matière solide flottante, appelée fraction boue, est écumée sur le dessus du séparateur à air dissous pour être dirigée vers la structure d'entreposage des solides. À travers une fine grille filtrante, la décantation naturelle par gravité produit une fraction liquide qui est retournée vers le réservoir de lisier brut et une fraction solide qui demeure dans la structure d'entreposage des solides pour être exportée périodiquement vers un centre de compostage.

1.4 Traitement biologique

La troisième étape du procédé Sequencia, le traitement biologique, comporte plusieurs unités à travers lesquelles circule le lisier en cours de traitement. Périodiquement, à une fréquence déterminée pour maintenir les conditions optimales, la première cuve de mélange est alimentée à part égale par du lisier séparé provenant de la réserve et par un retour de la fraction liquide finale de lisier traité. Par la suite, l'effluent de la cuve de mélange est dirigé vers un réacteur à culture fixe submergée. Le flux liquide est ensuite alimenté dans deux biofiltres installés en série. L'effluent final de lisier traité est évacué vers une lagune extérieure pour l'entreposage avant irrigation à la même fréquence que la chaîne de traitement biologique est alimentée en lisier

séparé. Évidemment, les transferts de liquides sont initiés par la vidange de l'effluent final puis poursuivis en cascades jusqu'à la cuve de mélange initiale.

La première cuve de mélange est maintenue en condition anaérobiose afin de réduire la teneur en nitrates (NO_3^-) de la fraction finale avec des microorganismes spécifiques qui effectuent la dénitrification en azote moléculaire (N_2). L'apport de lisier séparé frais, plus riche en matière organique, apporte une source de carbone facilement assimilable pour certains types de microorganismes compétiteurs qui autrement détriraient les microorganismes de la dénitrification.

Dans le réacteur à culture fixe, le liquide submerge complètement une culture bactérienne spécifique développée et implantée sur un support alvéolaire à grande surface en matière plastique. Le milieu est fortement agité par un courant d'air comprimé pour d'une part, oxyder la matière organique avec comme conséquence d'abaisser la demande chimique en oxygène (DCO) et pour d'autre part, minéraliser l'azote organique comme celui de l'urée en ammoniac (NH_3) ou ion ammonium (NH_4^+), soit l'ammonification. Une section du réacteur permet la décantation éventuelle de résidus solides qui seront dirigés vers le réservoir de lisier brut.

Les biofiltres de conception identique comprennent deux unités, une tour d'absorption et un bassin d'aération. La tour d'absorption est apparentée à une tour de lavage (scrubber) contenant un support sur lequel les flores bactériennes sont implantées. Le liquide à traiter est alimenté au sommet de la tour et descend sur le support bactérien pour être repris et dirigé dans le bassin d'aération en béton maintenu en agitation par des jets d'air comprimé. Après le bassin, l'effluent est retourné à plein débit, dans une boucle continue, au sommet de la tour d'absorption. Entre le premier et le second biofiltre, un réservoir tampon permet la décantation éventuelle de résidus solides qui seront dirigés vers le réservoir de lisier brut. Le temps de circulation dans les biofiltres est déterminé par la grosseur des unités et par le débit d'alimentation de l'étape de traitement biologique. Les biofiltres sont utilisés pour poursuivre l'oxydation de la matière organique et pour permettre la nitrification biologique de l'azote ammoniacal (NH_4^+) en nitrites (NO_2^-), d'abord avec des bactéries du genre *Nitrosomonas*, puis en nitrates (NO_3^-) par des bactéries du genre *Nitrobacter* (Béline, 2001).

2 ADDITIFS AU PROCÉDÉ SEQUENCIA

Le procédé de traitement Sequencia utilise des polymères dans le séparateur à air dissous pour aider à la séparation du lisier. À l'aide des polymères, la séparation s'effectue par coagulation et flocculation des particules solides du lisier.

La coagulation et la flocculation sont deux processus qui tendent à augmenter la dimension des particules ayant pour bénéfice l'obtention d'un taux de sédimentation plus élevé. Les deux termes sont souvent utilisés pour la même cause, mais il existe des différences subtiles entre la coagulation et la flocculation (Zhang et Lei, 1998). La coagulation est un processus d'agglomération des particules en suspension permettant de former des particules de plus grande dimension qui sédimentent plus facilement avec l'addition d'électrolytes. La flocculation est un processus d'agglomération des particules coagulées à l'aide d'agents flocculants.

Basés sur la charge moléculaire, les polymères de séparation sont classés selon trois types de charge : cationique, non-ionique ou anionique. Lorsqu'elles sont activées, ces molécules possèdent un grand nombre de sites qui attirent et adsorbent les particules en suspension. Dans le cas des fumiers, il est recommandé d'utiliser des polymères cationiques pour neutraliser les charges négatives que possèdent les particules colloïdales des fumiers.

2.1 Les produits utilisés dans le procédé Sequencia

La chaîne de traitement de lisier Sequencia utilise deux polymères hydrosolubles de séparation, un coagulant et un flocculant.

2.1.1 Coagulant

Le polymère utilisé comme coagulant cationique (figure 4) est une amine quaternaire polymérisée produite par le mélange de α -épichlorohydrine (1-chloro 2-3-époxy propane) avec des amines primaires ou secondaires, habituellement la diméthylamine. Ces polymères ont un poids moléculaire modéré allant de 10 000 à 1 000 000 (LPM Technologie).

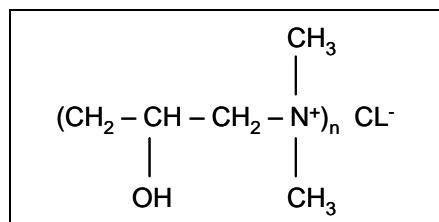


Figure 2 : Coagulant cationique

Cette polyamine est un coagulant organique qui peut remplacer complètement les coagulants inorganiques, tels le sulfate ferrique, le sulfate d'aluminium, le perchlorure d'aluminium et le chlorure ferrique. Contrairement aux coagulants inorganiques, la polyamine ne contient aucun métal lourd, ainsi son utilisation ne contribue pas à accroître le contenu en métaux lourds des fractions solides. La quantité utilisée dans le séparateur à air dissous est d'environ 160 g/m³ de lisier.

L'utilisation de ce type de produit est autorisée pour le traitement de l'eau potable aux États-Unis, en Amérique du Sud, en Grande-Bretagne, en Russie et en Corée. Il est également utilisé dans la fabrication de papier et dans les boues de forage (LPM Technologie).

2.1.2 Floculant

Le polymère utilisé comme floculant cationique (figure 5) est principalement issu de la copolymérisation d'acrylamide (propènamide) avec un sel d'ammonium quaternaire formé par réaction entre le chlorure de méthyle et le diméthylamineéthylacrylate (DMAEA) pour former des acrylamides polymérisés (PAMs). La quantité utilisée dans le séparateur à air dissous est d'environ 70 g/m³ de lisier.

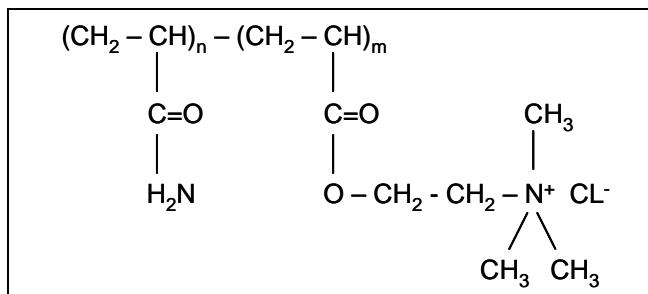


Figure 3 : Floculant cationique

2.2 L'utilisation des polymères et l'environnement

Après la séparation du lisier, les parties solide et liquide, à grande valeur fertilisante, sont épandues au champ. Lorsque traitées chimiquement par l'ajout de polymères tel que des acrylamides polymérisés, il est clair que des interrogations supplémentaires surviennent en termes d'impact environnemental. Surtout que depuis quelques années, une recrudescence est apparue dans l'utilisation des polymères comme amendements du sol afin de contrôler l'érosion et d'améliorer l'infiltration (Lu et al., 2002). Ainsi, l'industrie a été amenée à étudier le devenir à long terme de ces polymères une fois relâchés dans l'environnement.

2.2.1 Toxicité des polymères

Les acrylamides polymérisés résultent de la polymérisation d'acrylamides. La toxicité de l'acrylamide est rapportée depuis longtemps dans plusieurs ouvrages. Chez l'homme et les animaux, il peut être facilement absorbé par toutes les voies d'exposition, principalement orale, cutanée et respiratoire. Il produit alors une axonopathie, causant ainsi une rupture des fonctions sensorielle, motrice et autonome dans les nerfs périphériques et les régions supérieures de la moelle épinière (Caulfield et al., 2002; Smith et al., 1996).

D'autre part, les acrylamides polymérisés s'avèrent être non-toxiques pour les humains, les animaux, les plantes et la faune aquatique (Seybold, 1994). Des études effectuées par SNF, premier fabricant mondial de floculants et coagulants organiques pour le traitement des eaux, et par STOWA, l'autorité administrative en matière de réglementation aux Pays-Bas, confirment à leur tour que les acrylamides polymérisés n'ont aucun effet néfaste pour les écosystèmes (Marroni, 1999).

Conséquemment, la problématique associée à l'usage des acrylamides polymérisés ne réside pas dans leur propre toxicité mais plutôt dans l'éventuelle formation d'acrylamide par des mécanismes de dégradation ou par la présence de monomères résiduels d'acrylamide après polymérisation (Caulfield et al., 2002; Kay-Shoemake, 1998).

2.2.2 Mécanismes de dégradation des acrylamides polymérisés

Dans un rapport exhaustif, Caulfield et al. (2002) effectuent une synthèse sur les principales voies de dégradation des acrylamides polymérisés et la formation potentielle d'acrylamides évaluées jusqu'à maintenant par différents chercheurs.

La photodégradation des polymères, qui résulte de l'absorption d'énergie via les photons de la lumière, représente une première voie de transformation. Plusieurs auteurs mentionnent la sensibilité des acrylamides polymérisés aux rayons ultraviolets apportés par la lumière naturelle (Kay-Shoemake, 1998; Smith et al., 1996). En 1996, Smith et ses collègues suggéraient la formation d'acrylamides sous l'effet de la radiation UV. Toutefois, ces résultats sont démentis par un grand nombre de chercheurs qui rapportent tous la génération de radicaux libres, la scission de la chaîne de polymères, mais jamais un retour aux monomères d'acrylamides (Caulfield et al., 2002).

La dégradation biologique est une autre voie de transformation (Caulfield et al., 2002). Plusieurs recherches ont porté sur la dégradation des acrylamides polymérisés par les microorganismes présents dans le sol. Celles-ci rapportent la résistance des acrylamides polymérisés face à la dégradation microbienne. Toutefois, une exception fait règle quand l'unique source d'azote est contenue dans l'acrylamide polymérisé utilisé (Kay-Shoemake, 1998). Il s'ensuit alors une utilisation de l'azote par les enzymes et une croissance bactérienne. Mais rares sont les cas où aucune autre source d'azote n'est disponible, surtout lorsqu'il est question d'épandage. Ainsi, sous forme d'oligomères, ils deviennent susceptibles à la digestion microbienne. Encore une fois, aucune évidence n'a été apportée quant à la formation d'acrylamide (Caulfield et al., 2002).

Caulfield et al. (2002) abordent la dégradation thermique, mais celle-ci ne semble pas occasionner de changements puisque à des températures inférieures à 200 °C, les acrylamides polymérisés demeurent stables et ne subissent qu'une légère baisse de poids, probablement due à l'absorption de l'eau par l'environnement ou à d'autres impuretés volatiles. Quant à la dégradation mécanique, elle implique la séparation des chaînes de polymères et rend les monomères biodisponibles.

Habituellement, les rendements de polymérisation des acrylamides varient de 90 à 99,5 % (Caulfield et al., 2002). Selon les usages destinés, il existe différentes normes gouvernementales concernant la concentration permise d'acrylamide résiduel dans les acrylamides polymérisés. Par exemple, dans la clarification de l'eau potable, les acrylamides polymérisés ne doivent pas contenir plus de 0,05 % d'acrylamide résiduel. Plusieurs méthodes d'extraction d'acrylamide ont été développées pour pallier les rendements de polymérisation et ainsi répondre aux concentrations requises.

3 STRATÉGIE D'ÉCHANTILLONNAGE

La stratégie d'échantillonnage appliquée aux essais de caractérisation a été développée dans le but de dresser un bilan massique autour du procédé de traitement Sequencia. Pour cela il faut établir, en faisant des mesures des débits, les quantités de lisier brut alimenté au procédé ainsi que les quantités des fractions solide et liquide générées par le procédé. De plus, avec le prélèvement d'échantillons, la caractérisation des matières impliquées permet de faire un bilan pour chacun des paramètres recherchés.

3.1 Échantillonnage des fractions liquide et solide

À cause de la configuration des différentes unités de traitement utilisées, plusieurs points de mesure des débits et de prélèvement d'échantillons ont été nécessaires pour bien établir le cheminement des matières. Au total huit points de contrôle ont été retenus. Dans la section de la séparation physico-chimique, les six points de mesure ont été l'entrée du séparateur sur tamis pour le lisier brut, le rejet du séparateur sur tamis pour la fraction solide grossière, la sortie basse du séparateur sur tamis pour le lisier brut tamisé avant le trop-plein, l'entrée du séparateur à air dissous pour le lisier brut tamisé après le trop-plein, la sortie basse du séparateur à air dissous pour le lisier séparé et la sortie haute du séparateur à air dissous pour la fraction boue de laquelle est décantée la fraction solide la plus abondante et le résiduel de lisier séparé. Dans la section du traitement biologique, les deux points de mesure ont été l'alimentation discontinue de la cuve de mélange à partir de la réserve pour le lisier séparé et la sortie vers la lagune du deuxième biofiltre pour le lisier traité final.

Puisque des surpressions sur la ligne d'alimentation du lisier brut auraient pu se produire suite à l'installation d'un appareil de mesure, le débit du lisier brut a été calculé en mesurant le débit du lisier brut tamisé évacué par le séparateur mécanique puis en additionnant le débit du solide évacué du séparateur.

Les fractions résiduelles de matière solide issues des deux décanteurs n'ont pas été considérées parce que les débits sont variables et intermittents et que les effluents sont retournés au réservoir de lisier brut.

3.2 Échantillonnage des gaz

En raison de la multiplicité des points d'émission de gaz et des caractéristiques des sources qui ne sont pas confinées, les mesures de débit et l'échantillonnage des gaz deviennent des activités complexes et difficiles à réaliser à des coûts raisonnables. Ainsi une approche plus globale a été adoptée. Elle consiste à bien circonscrire les entrées et les sorties d'air du bâtiment abritant la totalité du procédé. En mesurant le débit puis en analysant l'air évacué du bâtiment, l'enrichissement des concentrations des gaz recherchées par rapport à l'air ambiant pourra être attribué aux gaz émis par le procédé de traitement.

3.3 Paramètres d'échantillonnage

Afin de bien évaluer le procédé et de limiter les coûts, l'évaluation du bilan massique du procédé Sequencia a été effectuée à trois reprises, le nombre minimum de répétitions généralement

reconnu comme statistiquement valable. Les trois essais ont été réalisés le même jour de la semaine durant trois semaines consécutives, soit les 6, 13 et 20 juillet 2004, afin d'éviter les biais statistiques. Dans les bâtiments, qui sont tous sous gestion tout plein / tout vide, les animaux étaient âgés de 12, 13 et 14 semaines pour des poids moyens respectifs de 42, 48 et 54 kg. Pour chacun des essais et pour chacun des points de contrôle, quatre échantillons ont été prélevés sur une période d'environ trois heures, en phase avec les séquences de vidange et d'alimentation de la section biologique, afin de documenter la variabilité à court terme du procédé. Les répétitions durant les trois semaines permettent de documenter la variabilité à plus long terme. Lors d'un des essais, les échantillons ont été prélevés en triplicata pour plusieurs des points de contrôle afin de démontrer que la méthode d'échantillonnage permet d'obtenir des échantillons semblables.

Deux groupes distincts de paramètres ont été analysés dans les échantillons liquides et solides. Les paramètres agronomiques ont été analysés dans tous les échantillons prélevés. Les paramètres biologiques, qui comprennent le dénombrement des bactéries *Escherichia coli* (*E. coli*) et la détermination de la présence ou de l'absence des salmonelles (*Salmonella*), ont été déterminés dans le lisier brut, le solide du tamis, la fraction solide de la boue, la fraction liquide de la boue, le lisier séparé et le lisier traité.

Paramètres agronomiques analysés
Densité
pH
% de matière sèche 105 °C
% de cendres 500 °C
P, K, Ca, Mg, Al, B, Cu, Fe, Mn, Zn, Na
Azote total N _{total}
Azote minéral N-NH ₄
Azote nitrique N-NO ₃
Rapport C/N
Chlorures
Demande chimique en oxygène (DCO)

Les gaz recherchés dans les échantillons gazeux sont d'une part, les formes réduite et oxydée les plus courantes du carbone, le méthane (CH₄) et le dioxyde de carbone (CO₂) et d'autre part, les formes de l'azote les plus susceptibles d'être émises par un procédé de traitement du lisier et dont le devenir atmosphérique est le plus préoccupant, l'ammoniac (NH₃) et l'oxyde nitreux (N₂O).

Afin de mieux documenter certaines facettes de l'impact environnemental du procédé de traitement, des paramètres supplémentaires ont été analysés dans le lisier brut et dans les fractions du procédé qui sont exportées vers le milieu environnant, soit la fraction solide de la boue, la fraction liquide du séparateur à air dissous et le lisier traité final. Les paramètres recherchés ont été les éléments toxiques As, Cd, Co, Cr, Hg, Mo, Ni, Pb et Se, de même que les 17 congénères de dioxines et de furannes (D/F) pour lesquels des facteurs d'équivalence toxique (EQT) ont été établis par l'OTAN en 1988 (CEAEQ, 2002). En raison des coûts très élevés, les métaux lourds ont été analysés dans les quatre échantillons provenant d'une seule série de prélèvement de chacun des essais alors que les D/F ont été analysés dans quatre échantillons qui ont été prélevés spécifiquement pour ces analyses en septembre 2004.

4 MÉTHODOLOGIE

Les méthodes utilisées pour mesurer les débits des effluents du procédé Sequencia ont été adaptées aux caractéristiques des effluents liquide, solide ou gazeux. Ainsi, les débits de lisier brut tamisé avant le trop-plein, de lisier brut tamisé après le trop-plein, de lisier séparé alimenté au traitement biologique et de lisier traité ont été mesurés avec des débitmètres magnétiques. Les débits des effluents aux sorties du séparateur à air dissous, soit le lisier séparé et la fraction boue ainsi que le débit de solide de la séparation sur tamis, ont été mesurés par pesée de la matière sur une balance électronique. Le débit des gaz à la sortie du ventilateur du bâtiment a été mesuré avec un anémomètre à fil chaud.

4.1 Détermination des débits volumiques

Les débitmètres magnétiques COPA-XE Series 10DX4311 (ABB Bailey Fischer & Porter, Canada) ont été installés sur les conduits des effluents choisis avec des adaptateurs permettant de réduire les diamètres des conduits jusqu'à ceux des débitmètres, qui sont de 40 mm (1½ po). Ils ont été installés de façon à ce que le liquide descende dans le débitmètre et remonte pour la suite du procédé afin de s'assurer que le conduit du débitmètre soit toujours plein de liquide. Avec une sortie 4 à 20 mA, ils ont été branchés à un système d'acquisition de données CR10X (Campbell Scientific, USA) qui a été programmé avec le logiciel PC208W (Campbell Scientific, USA) pour archiver les lectures acquises aux dix secondes de chacun des débitmètres.

Avant les essais, les débitmètres magnétiques ont été étalonnés par le Centre de recherche industrielle du Québec (CRIQ). Les étalonnages ont permis de montrer que les débits indiqués par les débitmètres étaient identiques, à 2 % près, à ceux mesurés par la pesée des volumes de liquides circulant pendant un temps donné dans les appareils. De plus, les débits mesurés étaient identiques selon que les débitmètres étaient utilisés pour mesurer de l'eau ou du lisier.

4.2 Détermination des débits massiques

Pour mesurer le débit de lisier séparé et le débit de la fraction boue du séparateur à air dissous, des jeux de valves ont été installés respectivement à la sortie basse et à la sortie haute du séparateur à air dissous. Les jeux de valves permettent de diriger normalement l'effluent vers la suite du procédé ou, lors de la mesure du débit, vers un récipient qui était rempli durant un temps chronométré. La différence de poids du récipient permet de calculer le débit de l'effluent. Pour la fraction boue, un échantillon prélevé dans un bêcher durant le remplissage du récipient était pesé et laissé au repos durant plus d'une heure pour décantation. Les pesées séparées du liquide soutiré du fond du bêcher et du solide flottant sur le dessus permettent de calculer la fraction massique de solide retrouvée dans la boue du séparateur à air dissous.

Il avait été prévu que le solide du séparateur sur tamis soit pesé après avoir été recueilli pour la durée complète de chacun des essais dans un récipient placé sous la chute du séparateur. Cependant, pour les essais 1 et 2, la production de solide au séparateur a été plus importante et les pesées ont été effectuées plus fréquemment après chacune des séances de prélèvement d'échantillons.

Une balance TOLEDO Modèle 2136 a été utilisée pour peser les effluents du séparateur à air dissous et le solide du séparateur sur tamis. La balance a été étalonnée par le locateur avant la location. La balance METTLER PE6000 (Mettler Instrumentes AG, Suisse) utilisée pour peser les fractions solide et liquide de la boue du décanteur chimique fait partie du parc d'équipements calibrés du laboratoire de physique et de chimie inorganique, certifié ISO 9001 de l'IRDA.

4.3 Détermination des débits de ventilation

Pour chacun des essais, entre les périodes de prélèvement des échantillons, l'air du bâtiment a été évacué par un seul ventilateur d'extraction. Toutes les autres ouvertures du bâtiment ont été fermées sauf les trappes d'entrée d'air de ventilation de l'entretoit. Le débit d'air a été mesuré avec un anémomètre à fil chaud VelociCalc Plus 8386A (TSI Incorporated, USA) dans un tuyau en carton installé avec un adaptateur sur le bâti du ventilateur d'extraction à l'extérieur du bâtiment.

4.4 Prélèvement des échantillons

Selon la nature liquide, solide ou gazeuse de l'échantillon et selon le point de prélèvement dans le procédé, la méthode d'échantillonnage est différente. De plus, à cause des groupes de paramètres à analyser, plusieurs échantillons ont été prélevés en double dans des pots différents. Des contenants de 500 ml à large ouverture en polyéthylène à haute densité (HDPE) ont été utilisés pour les paramètres agronomiques et des bouteilles de 250 ml à large ouverture en polypropylène (PP) stérilisées à l'autoclave ont été utilisées pour les paramètres biologiques. Pour l'analyse des dioxines et des furannes, des pots en verre ambré avec des couvercles munis d'une garniture de Téflon® ont été utilisés pour tous les échantillons.

Le lisier brut a été échantillonné directement à l'entrée du séparateur mécanique sous le déversoir d'alimentation et le lisier brut tamisé avant le trop-plein a été prélevé à la sortie du débitmètre. Les échantillons de lisier brut tamisé après le trop-plein, de lisier séparé alimenté au traitement biologique et de lisier traité final ont été prélevés par un té muni d'une valve à boisseau sphérique installé dans la conduite de l'effluent échantillonné. Au moment de l'échantillonnage, le té et la valve ont été rincés durant quelques instants avant les prélèvements. Le lisier séparé et la fraction boue du séparateur à air dissous ont été échantillonnés durant le remplissage des récipients utilisés pour mesurer le débit. Les pots de lisier séparé ont été remplis directement sous le jeu de valves installé à la sortie basse du séparateur à air dissous alors que les échantillons solides et liquides de la fraction boue ont été récupérés dans le bêcher utilisé pour la décantation de la fraction boue. Le solide du séparateur mécanique a été prélevé, après homogénéisation avec une cuillère, dans le récipient utilisé pour la mesure de débit.

À la suite de la détermination des débits de ventilation, les échantillons de gaz ont été prélevés avec un tube en Téflon® (6,4 mm DE) dans le tuyau de carton placé sur le ventilateur d'extraction. L'écoulement des gaz dans les tubes en Téflon® est assuré par une pompe à diaphragme (DIA-VAC R222-FT-BA1, Air Dimensions, USA) qui refoule l'échantillon gazeux dans un sac en fluorure de vinyle polymérisé (Tedlar®, ~ 25 L, Pacwill Environmental, Canada).

4.5 Analyses agronomiques des échantillons

Les échantillons liquides reçus au laboratoire ont d'abord été traités avec un homogénéisateur (Polytron®, Kinematica AG, Suisse) afin de créer une émulsion stable qui permet d'obtenir des prises d'essai reproductibles. Les échantillons solides ont été dilués intentionnellement avec de l'eau dans une proportion massique mesurée puis traités comme les échantillons liquides. Les échantillons homogénéisés ont été conservés en tout temps au réfrigérateur (4 °C).

La densité est déterminée par la pesée d'un contenant rempli à ras bord de l'échantillon. Le volume du contenant est calculé avec le poids d'un volume identique d'eau à 4 °C. Le pH est mesuré à température ambiante avec une électrode de verre combinée, trempée dans une portion aliquote d'environ 20 ml de l'échantillon.

Les matières sèches sont déterminées à 105 °C par séchage durant 16 heures d'une prise aliquote d'environ 10 à 15 g. L'échantillon sec est ensuite calciné plus de 4 heures à 500 °C pour la détermination des cendres puis repris par l'acide chlorhydrique concentré pour le dosage des éléments (P, K, Ca, Mg, Al, B, Cu, Fe, Mn, Zn, Na) par spectroscopie d'émission atomique au plasma inductif (ICP).

L'azote total (N_{total}) n'incluant pas les nitrates est d'abord libéré par digestion oxydante ($H_2SO_4/H_2O_2/H_2SeO_3$) d'une prise aliquote d'environ 2 ml d'échantillon puis dosé avec un autoanalyseur Technicon par colorimétrie à 660 nm du complexe azoté, couleur vert émeraude, formé avec le salicylate de sodium en solution chlorée.

L'azote minéral sous forme d'ions ammonium ($N-NH_4$), de nitrates ($N-NO_3$) ou de nitrites ($N-NO_2$) est d'abord extrait avec le $KCl\ 2N$ d'une prise aliquote d'environ 5 ml de l'échantillon. Les diverses formes d'azote sont ensuite dosées avec un autoanalyseur Technicon à deux canaux. Les ions ammonium sont dosés sur un canal par colorimétrie à 660 nm du complexe coloré vert émeraude formé avec le salicylate de sodium en solution chlorée. Après réduction des nitrates en nitrites sur une colonne de cuivre-cadmiun, les nitrates, en incluant les nitrites, sont dosés sur le second canal par colorimétrie à 520 nm du complexe coloré rose pourpre formé en milieu acide avec la sulfanilamide et le dihydrochlorure de N-1 naphthyl-éthylénediamine.

Le rapport C/N est le rapport entre la teneur en carbone et en azote de l'échantillon. La teneur en azote est celle mesurée sous forme N_{total} . La teneur en carbone est estimée avec la différence de poids entre les matières sèches et les cendres. Cette différence, qui est attribuée à la matière organique, est divisée par un facteur de conversion pour donner la teneur en carbone organique. Le facteur de conversion (2,01) a été établi par des analyses CNS (carbone/azote/soufre) déjà réalisées sur des échantillons de matière sèche de lisier de porcs.

Les chlorures sont déterminés par titrage au nitrate d'argent d'une portion aliquote de 1 g de l'échantillon avec un titreur automatique (Titribo 794 Basic, Metrohm, Suisse). Le point de virage est détecté avec une électrode d'argent.

La demande chimique en oxygène (DCO) est mesurée par colorimétrie à 600 nm du chrome trivalent (Cr^{+3}) provenant de la réduction du bichromate de potassium ($K_2Cr_2O_7$) utilisé pour faire l'oxydation de la matière organique en milieu acide sulfurique (H_2SO_4) concentré chaud.

L'intensité de la coloration verte du Cr⁺³ est calibrée avec des quantités connues du phthalate acide de potassium (KHC₈H₄O₄) auxquelles sont associées des valeurs en mg/L de demande chimique en oxygène.

Les procédures de contrôle de la qualité appliquées par le laboratoire incluent l'analyse en duplicita, l'analyse de blancs et l'analyse de matériaux de référence dont la traçabilité est établie au National Institute of Standards and Technology (NIST).

4.6 Analyses biologiques des échantillons

Les échantillons pour les analyses biologiques ont été placés sur la glace dès le prélèvement et conservés au froid (4 °C) jusqu'au moment des analyses qui ont été complétées dans les 48 heures.

Le dénombrement des bactéries *Escherichia coli* (*E. coli*) a été fait avec la méthode par tubes multiples sur des portions aliquotes prélevées directement dans le pot après homogénéisation manuelle. La méthode consiste à ensemencer plusieurs séries de tubes à essais contenant le substrat Colilert® (Idexx Laboratories, USA) avec plusieurs volumes ou dilutions du même échantillon. Le substrat Colilert® contient certains réactifs dont un est métabolisé par un enzyme spécifique aux coliformes pour donner une couleur jaune et un autre est métabolisé par un enzyme spécifique aux bactéries *E. coli* pour rendre le milieu fluorescent sous une lumière ultraviolette. Après l'incubation à 44,5 °C, selon le nombre et la répartition des tubes positifs, le nombre le plus probable (NPP) de bactéries *Escherichia coli* peut être estimé (CEAEQ, 1999).

Le test présence/absence des salmonelles (*Salmonella typhimurium*) a été fait sur des portions aliquotes prélevées directement dans le pot après homogénéisation manuelle. Les échantillons sont inoculés dans un bouillon d'enrichissement sélénite cystine et incubés à 40 °C pendant 24 heures. Une gélose XLT4 est ensuite inoculée avec un prélèvement de chaque bouillon sélénite cystine positif. Après incubation à 37 °C durant 24 heures, une confirmation biochimique est faite avec une galerie d'identification API 20 E® (bioMérieux, France) sur les colonies bactériennes typiques des salmonelles trouvées sur les géloses XLT4.

4.7 Analyses environnementales

Les échantillons soumis au dosage des éléments toxiques sont digérés au micro-ondes en milieu acide nitrique concentré puis analysés par spectrométrie de masse couplée au plasma inductif (ICP-MS).

Au début de la séquence d'analyse des dioxines et des furannes, tous les échantillons sont fortifiés avec une solution étalon de dioxines et de furannes marqués au carbone 13 pour établir les taux de recouvrement. Les échantillons de lisier brut et de solide de boue ont été évaporés à l'air libre jusqu'à siccité puis extraits au soxhlet avec le toluène. La totalité des échantillons de lisier séparé et de lisier traité ont été soumis à une extraction liquide:liquide avec le dichlorométhane. Les extraits sont concentrés et les solvants sont échangés pour l'hexane. Les extraits à l'hexane sont ensuite purifiés sur une colonne multicouche et une colonne d'alumine. Les extraits purifiés sont évaporés à sec puis dissous à nouveau dans une solution étalon pour injection dans un chromatographe en phase gazeuse et détection par spectrométrie de masse à

haute résolution. Les concentrations mesurées sont finalement corrigées pour la récupération des étalons de recouvrement.

4.8 Analyses des échantillons gazeux

Les sacs d'échantillons de gaz ont été analysés dans les 24 heures du prélèvement. Le méthane (CH_4), le dioxyde de carbone (CO_2) et l'oxyde nitreux (N_2O) sont analysés par chromatographie et l'ammoniac (NH_3) est analysé par spectroscopie non-dispersive dans l'infrarouge (NDIR).

La stratégie retenue pour l'analyse chromatographique est la séparation des trois gaz sur des colonnes remplies de Porapak Q (80/100 mesh, Waters Corporation, USA). Le méthane est quantifié avec un détecteur à ionisation de flamme (FID). Le dioxyde de carbone est aussi quantifié avec le FID mais après réduction en méthane avec l'hydrogène sur un catalyseur de nickel. Finalement l'oxyde nitreux est mesuré avec un détecteur à capture d'électrons (ECD).

5 PRÉSENTATION ET DISCUSSION DES RÉSULTATS

5.1 Détermination des débits

5.1.1 Débits volumiques des unités de séparation

L'enregistrement en continu des débits par des débitmètres magnétiques permet de suivre les variations de débit durant le déroulement des essais. Les débits volumiques enregistrés durant les trois essais pour le séparateur mécanique et pour le séparateur à air dissous sont présentés sur trois figures qui sont regroupées à l'annexe 1. Un exemple pour l'essai 1 du 6 juillet 2004 est présenté à la figure 6.

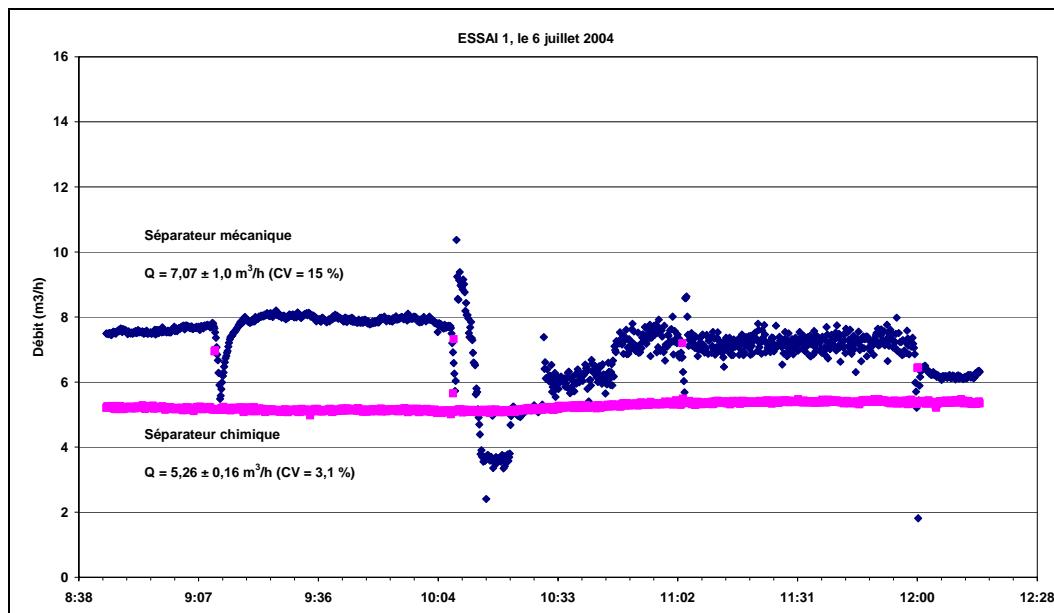


Figure 4 : Suivi des débits autour des unités de séparation pour l'essai 1

Les figures montrent que les débits peuvent varier occasionnellement et particulièrement celui du séparateur mécanique qui est affecté par l'arrêt temporaire de la rotation des brosses et des rouleaux qui est provoqué volontairement pour des considérations de sécurité lors du prélèvement des échantillons. Ainsi les valeurs de débit retenues pour le calcul des bilans ont été établies en faisant la moyenne des lectures enregistrées durant toute la période de prélèvement des échantillons. Le tableau 1 présente les débits moyens qui seront utilisés dans le calcul des bilans.

Tableau 1 : Débits moyens de lisier brut tamisé (m ³ /h)		
	Produit par le séparateur à tamis	Alimenté au séparateur à air dissous
Essai 1	7,07	5,26
Essai 2	11,4	6,01
Essai 3	8,89	6,07

5.1.2 Débits volumiques du procédé de traitement biologique

Des figures illustrant les débits enregistrés en continu sont regroupées à l'annexe 2. Un exemple de ces tracés est présenté à la figure 7 pour l'alimentation en lisier séparé provenant de la réserve et pour l'effluent de lisier traité dirigé vers la lagune d'entreposage durant l'essai 2 du 13 juillet 2004.

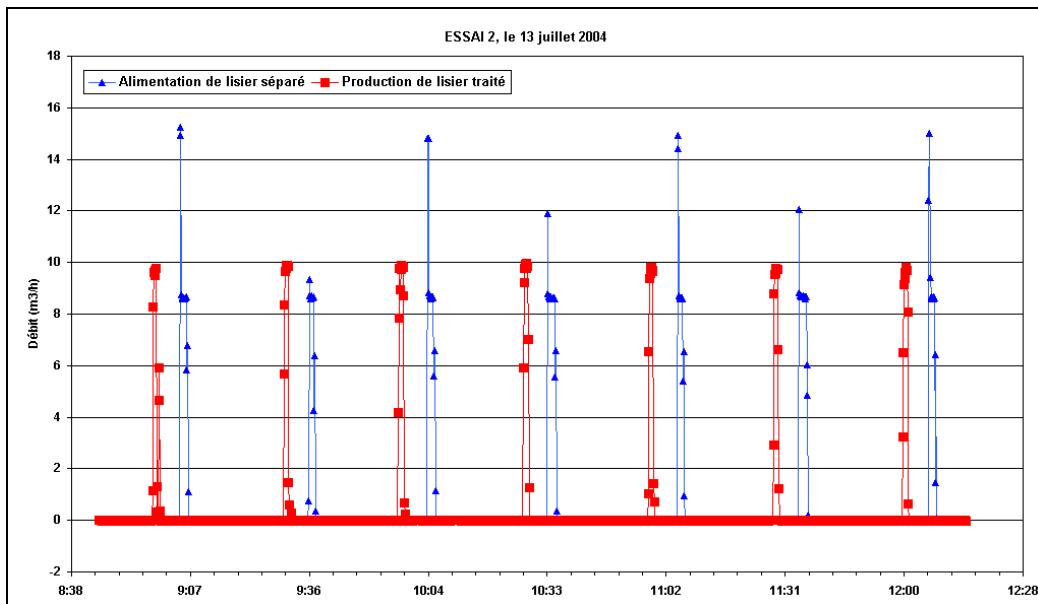


Figure 5 : Débits autour du traitement biologique pour l'essai 2

Tel que démontré par la figure, le système de traitement biologique est alimenté en mode discontinu (batch) ainsi le débit dans les conduites est à zéro la plupart du temps sauf lors des événements de vidange et de remplissage des unités du traitement. Pour le calcul des débits horaires, les sept événements de vidange/remplissage qui se sont produits durant la période d'échantillonnage ont été utilisés. Pour chaque point de débit supérieur à zéro, le volume débité par période de 10 secondes a été calculé puis tous les volumes ont été additionnés. Ainsi pour chaque événement, le volume total débité est connu. Le volume moyen pour les sept événements a été calculé. Le débit horaire est donc le volume moyen débité par événement multiplié par deux puisque deux événements de vidange/remplissage ont lieu à chaque heure. Le tableau 2 présente les débits horaires moyens calculés pour chacun des essais.

Tableau 2 : Débits volumiques moyens autour du traitement biologique (L/h)

	Alimentation de lisier séparé	Production de lisier traité
Essai 1	499	353
Essai 2	564	381
Essai 3	503	316

5.1.3 Débits massiques des unités de séparation

Les débits massiques ont été mesurés à chaque série de prélèvement d'échantillons pour tous les essais. Cependant, pour des considérations de simplification des calculs et parce que les débits obtenus sont relativement semblables pour une même journée d'échantillonnage, les débits moyens pour chaque effluent et pour chaque essai ont été calculés et sont présentés au tableau 3.

Tableau 3 : Débits massiques moyens (kg/h)			
	Essai 1	Essai 2	Essai 3
Fraction solide grossière évacuée par le séparateur à tamis	227	10,4	3,30
Fraction boue évacuée par le séparateur à air dissous	4237	2435	2258
Lisier séparé produit par le séparateur à air dissous	1451	3802	4150

La boue évacuée par le séparateur à air dissous se sépare très rapidement après le dépôt dans la structure d'entreposage des solides. La fraction solide surnageante est nettement séparée de la fraction liquide. Bien que le dépôt à très long terme de la boue dans la structure d'entreposage des solides devrait permettre un meilleur essorage de la fraction solide, la fraction massique solide de la boue a été estimée avec les pesées effectuées lors de l'échantillonnage et les résultats moyens sont présentés au tableau 4.

Tableau 4 : Fraction massique du solide séparé de la boue	
Essai 1	0,429
Essai 2	0,301
Essai 3	0,246

5.1.4 Débits de ventilation du bâtiment

Les moyennes des débits de ventilation du bâtiment mesurés à trois reprises pour chaque essai sont présentées au tableau 5.

Tableau 5 : Débits de ventilation du bâtiment (m³/h)	
Essai 1	2058
Essai 2	3263
Essai 3	2826

5.2 Caractérisation des échantillons

5.2.1 Échantillons liquides et solides

L'étude du procédé de traitement génère une grande quantité de résultats d'analyse qu'il convient de simplifier pour permettre de mieux comprendre le cheminement des matières dans le système de traitement. Pour réduire le nombre de données, des moyennes des paramètres analysés ont été calculées pour chaque essai et pour tous les échantillons prélevés lors des quatre séries de prélèvement. Pour le calcul des moyennes, quelques résultats d'analyse ont été rejetés sur la base du test Q qui permet, pour un petit nombre de données à un niveau de confiance de 90 %, de rejeter une donnée qui semble aberrante face aux autres. Ainsi, les résultats d'analyse moyens des échantillons prélevés aux neuf points de contrôle sont présentés pour chaque essai dans des tableaux regroupés aux annexes 3 à 5 et un tableau des moyennes des analyses pour les trois essais est présenté au tableau 6.

Tableau 6 : Résultats d'analyse moyens des trois essais

	Lisier brut	Solide du tamis	Lisier tamisé avant trop-plein	Lisier tamisé après trop-plein	Solide de la boue	Liquide de la boue	Lisier séparé	Lisier séparé alimenté au traitement biologique	Lisier traité
Densité (g/cm ³)	0.99	1.03	1.01	0.99	0.92	0.99	0.99	0.99	0.99
pH	7.32	7.97	7.34	7.35	7.32	7.63	7.54	7.67	7.69
Matières sèches (% poids)	2.1	15	2.0	1.9	7.3	0.78	0.75	0.71	0.43
Cendres (% poids sec)	31	6.0	31	31	20	44	47	48	67
N total (mg/kg)	2806	4508	2796	2776	6380	1872	1883	1785	144
N-NH ₄ (mg/kg)	1637	1600	1661	1673	1853	1476	1481	1428	76
N-NO ₃ (mg/kg)	0.98	2.1	0.71	0.94	1.1	0.059	0.61	0.011	92
Phosphore (mg/kg)	496	762	506	492	2046	124	123	87	26
Potassium (mg/kg)	1006	733	1005	983	875	894	944	895	825
Calcium (mg/kg)	463	1046	472	450	1821	152	150	144	50
Magnésium (mg/kg)	269	372	274	268	1132	62	62	47	26
Aluminium (mg/kg)	12	26	13	13	42	10	7.5	7.7	14
Bore (mg/kg)	1.4	3.7	1.3	1.3	1.9	1.1	1.1	1.1	0.89
Cuivre (mg/kg)	16	26	16	16	87	1.0	0.73	0.64	0.40
Fer (mg/kg)	50	149	50	48	241	3.3	3.4	2.5	1.7
Manganèse (mg/kg)	13	27	13	13	65	1.4	1.3	0.75	0.047
Zinc (mg/kg)	30	45	30	29	150	1.6	0.84	0.89	0.42
Sodium (mg/kg)	449	504	455	450	470	433	431	417	359
Chlorures (mg/kg)	906	627	895	914	904	812	816	793	715
C/N	2.4	15	2.4	2.3	4.6	1.1	1.0	1.0	5.1
DCO (mg/L)	33250	nd	31083	31556	nd	12403	12369	11694	1094
Coliformes (NPP/ml ou g)	346667	666667	nd	nd	598333	61000	nd	9742	213

Les résultats d'analyse permettent de constater que le lisier brut traité lors de l'essai 1 était significativement différent des lisiers bruts traités aux essais 2 et 3. Cela se reflète particulièrement sur les taux de matière sèche qui étaient en moyenne de 3,5 % pour l'essai 1 et de 1,4 et 1,3 % pour les essais 2 et 3 respectivement. De plus, d'une manière générale, les concentrations des paramètres analysés ont tendance à diminuer au fur et à mesure que les échantillons proviennent des unités de traitement situées les plus en aval du procédé.

Les matières sèches sont principalement concentrées dans les fractions solides avec des teneurs de 15 % pour le solide de tamis et de 7,3 % pour le solide de la fraction boue alors que celles des liquides sont inférieures à 2 % avant la séparation chimique et inférieures à 1 % après la séparation chimique. Il faut aussi remarquer que lorsque les teneurs en matière sèche diminuent, les teneurs en cendres augmentent, ce qui semble démontrer que le procédé de traitement agit sur le contenu en matière organique du lisier laissant les cendres inorganiques en fin de procédé.

Les teneurs en azote des échantillons sont très différentes selon qu'il s'agit d'azote total, d'azote ammoniacal ou d'azote nitrique. Les échantillons solides sont les plus concentrés en azote total avec ~ 6000 mg/kg pour le solide de la boue et ~ 4000 mg/kg pour le solide du tamis. Dans les échantillons liquides, les teneurs diminuent de ~ 2800 mg/kg à ~ 1800 mg/kg avec le traitement chimique pour atteindre moins de 200 mg/kg après le traitement biologique. Mis à part le lisier traité, qui contient moins de 100 mg/kg d'azote ammoniacal, presque tous les échantillons contiennent environ la même quantité d'azote ammoniacal, soit entre 1400 et 1800 mg/kg avec les plus basses teneurs pour les échantillons prélevés après le traitement chimique. Ce qui est presque le contraire pour l'azote nitrique qui est pratiquement absent de tous les échantillons, moins de 2,5 mg/kg, mais présent en teneur maximale de 92 mg/kg en moyenne dans le lisier traité.

La distribution du phosphore dans les échantillons prélevés suit le même genre de tendance que celle observée pour l'azote total. En effet, la concentration est maximale dans le solide de la boue et le solide du tamis, avec respectivement ~ 2000 mg/kg et ~ 733 mg/kg, puis diminue avec le traitement chimique de ~ 500 mg/kg à ~ 150 mg/kg dans les échantillons liquides pour atteindre un minimum de 26 mg/kg après le traitement biologique.

Les résultats d'analyse démontrent que les pertes d'azote ou de phosphore durant le traitement ne sont pas équivalentes pour tous les échantillons. En effet, les échantillons avant le traitement chimique ont un rapport azote/phosphore (N/P) variant de 5,5 à 5,9 alors que ceux prélevés après le traitement chimique ont un rapport N/P de 15 à 20 puisque dans ces échantillons, le traitement chimique retire le phosphore pour le transférer dans le solide de la boue et lui donner un rapport N/P de 3,1. Le traitement biologique diminue ensuite le rapport N/P de ~ 17,5 à 5,5 pour le lisier traité en dissipant l'azote par dénitrification bactérienne.

Certains des paramètres analysés se retrouvent en quantité équivalente dans tous les échantillons peu importe leur provenance dans le procédé, soit le potassium ~ 900 mg/kg, le sodium ~ 440 mg/kg et les chlorures ~ 800 mg/kg.

Plusieurs des paramètres analysés suivent des tendances de distribution identiques qui ressemblent à celles du phosphore. Les concentrations sont maximales pour le solide de la boue, plus grandes avant le traitement chimique et très faibles après le traitement chimique. Ces

paramètres sont le calcium, le magnésium, l'aluminium, le cuivre, le fer, le manganèse et le zinc. Le bore est un cas à part. Bien que la concentration soit très faible, elle est maximale dans le solide du tamis à 3,7 mg/kg et de 1 à 2 mg/kg pour les autres échantillons.

Le rapport C/N est maximal à 15 pour le solide du tamis, environ équivalent à 5 pour le solide de la boue et le lisier traité et de 1 à 2 pour les autres échantillons.

La DCO n'a pas été analysée dans les fractions solides à cause des limitations de la méthode d'analyse. Les teneurs dans les échantillons prélevés avant le traitement chimique sont semblables ~ 32 000 mg/L en moyenne. Celles retrouvées dans les échantillons prélevés après le traitement chimique sont aussi semblables mais environ trois fois moindres, soit ~ 12 000 mg/L alors que celles du lisier traité sont les plus faibles à ~ 1 000 mg/L.

Les bactéries *E. coli* n'ont pas été recherchées partout à cause des coûts élevés des analyses. Les quantités retrouvées sont très variables avec des valeurs jusqu'à dix fois plus grandes pour un même échantillon prélevé dans des essais différents. Cependant, la tendance générale montre que le solide du tamis est le plus contaminé, suivi de très près par le solide de la boue et le lisier brut. La fraction liquide de la boue est moyennement contaminée, le lisier séparé alimenté au traitement biologique est beaucoup moins contaminé et finalement le lisier traité est très peu contaminé avec un nombre le plus probable de 213 *E. coli*/ml ou 213 NPP/ml. Les salmonelles ont été généralement absentes des échantillons prélevés aux essais 2 et 3 mais ont été plus souvent présentes dans ceux de l'essai 1.

Durant le troisième essai, pour une des séries de prélèvement, des échantillons des fractions pauvres en matière sèche ont été prélevés en triplicata. Les résultats moyens calculés avec les échantillons en triplicata ne montrent aucune différence significative de ceux calculés avec les six échantillons prélevés pour les quatre séries de prélèvement de cet essai. De plus, les écarts-types relatifs calculés avec les échantillons en triplicata ne diffèrent pas non plus des écarts-types relatifs calculés avec tous les échantillons de l'essai. Ainsi la méthode d'échantillonnage utilisée pour les essais permet d'obtenir des échantillons représentatifs de l'effluent concerné.

5.2.2 Rejets gazeux

Les résultats bruts d'analyse des gaz prélevés dans l'effluent confiné du ventilateur d'extraction de l'air du bâtiment sont présentés au tableau 7.

Tableau 7 : Analyse des gaz évacués du bâtiment (ppm)			
	Essai 1	Essai 2	Essai 3
CH ₄	48	30	40
CO ₂	2117	1472	1629
N ₂ O	27	26	25
NH ₃	8,1	9,2	10

Les résultats présentés sont des valeurs moyennes des deux derniers prélèvements parce que les concentrations mesurées dans les premiers sacs prélevés étaient significativement plus faibles, probablement parce que l'équilibre du système de ventilation n'était pas atteint ou parce qu'il y avait encore des dilutions dans l'air de ventilation. Les résultats montrent bien l'enrichissement des concentrations de gaz par le procédé de traitement. En effet, dans l'air ambiant propre, on retrouve habituellement 1,7 ppm de CH₄, 360 ppm de CO₂, 0,3 ppm de N₂O et moins de 1 ppm de NH₃.

5.2.3 Analyse des éléments toxiques en traces

Les analyses complémentaires à incidence environnementale ont été réalisées dans le lisier brut et les fractions exportées du système de traitement pour une seule série de prélèvements, la dernière de chaque journée d'essai. L'annexe 6 présente tous les résultats d'analyse obtenus et le tableau 8 présente les résultats moyens des trois essais qui sont exprimés sur une base tel que reçu.

Tableau 8 : Concentration des éléments toxiques analysés (ppm)				
	Lisier brut	Solide de la boue	Lisier séparé	Lisier traité
Arsenic	0.030	0.151	0.005	0.004
Cadmium	0.006	0.035	0.001	0.003
Cobalt	0.104	0.509	0.025	0.019
Chrome	0.108	0.529	0.019	0.069
Mercure	0.003	0.005	0.005	0.003
Molybdène	0.222	1.290	0.013	0.017
Nickel	0.206	0.953	0.050	0.045
Plomb	0.019	0.120	0.005	0.003
Sélénum	0.089	0.535	0.002	0.000

Les concentrations en éléments toxiques retrouvées dans les échantillons sont encore le reflet de la teneur en matière sèche pour les lisiers bruts mais sont presque équivalentes entre les essais pour le solide de la boue et pour les lisiers séparés et traités. Les concentrations sont extrêmement faibles, bien souvent inférieures au dixième de ppm, sauf dans le solide de la boue. Les éléments les plus concentrés sont dans l'ordre le molybdène, le nickel, le cobalt, le chrome et le sélénum.

Les éléments toxiques sont concentrés dans le solide de la boue ce qui est prévisible puisque, tel que remarqué précédemment, le solide de boue concentre les matières sèches et les éléments qui y sont associés. Malgré l'ajout d'intrants étrangers au lisier, les agents de coagulation et de flocculation, les traces en éléments toxiques diminuent dans les fractions liquides du procédé qui sont destinées à l'épandage agricole.

5.2.4 Analyse des dioxines et des furannes

Bien que les sept congénères des dioxines et les dix congénères des furannes substitués en 2, 3, 7 et 8 aient été analysés et quantifiés séparément, le tableau 9 présente la concentration totale en équivalent toxique proposé par l'OTAN en 1988 pour les quatre échantillons analysés.

Tableau 9 : Détermination des dioxines et des furannes chlorés		
	Concentration en équivalent toxique à la 2,3,7,8 T4CDD (fg/g d'échantillon tel que reçu)	
	Dioxines	Furannes
Lisier brut	3,0	0,27
Solide de la boue	1,4	0,05
Lisier séparé	0,0043	0,0013
Lisier traité	0,027	0,0039

Les résultats obtenus sont extrêmement faibles, un femtogramme (fg) est égal à 10^{-15} gramme. Le domaine de quantification est celui des ultra-traces, ainsi l'interprétation des résultats d'analyse en ultra-traces requiert aussi l'examen des taux de recouvrement des analogues marqués qui ont été utilisés pour fortifier les échantillons avant les analyses. Les taux de recouvrement de 70 à 92 % pour le lisier brut sont bons et normaux, ceux de 42 à 63 % pour le solide de la boue sont faibles mais dans les limites prévues, alors que ceux de 26 à 39 % pour le lisier séparé et ceux de 9 à 14 % pour le lisier traité sont à l'extérieur des limites prévues selon le Programme d'assurance qualité du laboratoire d'analyse. Cependant, considérant que les résultats sont corrigés pour le taux de recouvrement, les résultats d'analyse peuvent donner une idée des ordres de grandeur des concentrations retrouvées dans les échantillons analysés.

Les seuls isomères des dioxines retrouvés dans les échantillons sont la octachlorodibenzodioxine et la 1234678-heptachlorodibenzodioxine. Les quantités retrouvées sont très voisines pour les échantillons semblables soit d'une part, le lisier brut et le solide de la boue et d'autre part, les lisiers séparé et traité. De plus, les analyses des groupes homologues contenant les substitutions en chlore sur toutes les positions en plus des positions 2, 3, 7 et 8 n'ont pas permis de détecter d'autres dioxines que celles substituées en 2, 3, 7 et 8, sauf pour le lisier brut pour lequel une deuxième dioxine portant 7 atomes de chlore a été mesurée. Les mêmes observations s'appliquent aux furannes pour lesquels le seul furanne détecté est celui, complètement saturé, qui porte huit atomes de chlore.

Afin de mettre en perspective les quantités de dioxines et de furannes mesurées dans les échantillons prélevés, un rapide survol des comptes-rendus d'un symposium international sur les polluants organiques halogénés (DIOXIN 2004) a été nécessaire. Basées sur des analyses effectuées en Europe, les pays de l'Union Européenne ont proposé des lignes directrices pour limiter les quantités de composés apparentés aux dioxines dans les aliments. Les valeurs types

pour ces lignes directrices varient de 1 à 6 pg/g ou de 1000 à 6000 fg/g. Selon le type d'aliment, elles sont exprimées sur le contenu en lipides, en humidité ou sur le poids total.

Ainsi, les résultats des analyses suscitent un intérêt particulier parce qu'il semble que ce soit les premiers obtenus sur des échantillons de lisier ou des fractions de lisier, du moins au Québec. De plus, les résultats montrent que les dioxines et les furannes sont en quantité significativement plus grande pour les échantillons contenant généralement les plus grandes quantités de matière sèche puisque les dioxines et les furannes sont souvent liés ou adsorbés sur les particules solides carbonées retrouvées dans les échantillons environnementaux.

5.3 Calculs des bilans massiques

5.3.1 Séparateur sur tamis

En utilisant les débits mesurés autour du séparateur sur tamis et les analyses moyennes pour chaque essai, les performances de la séparation sont calculées et présentées à la figure 8. Le bilan massique est établi pour le débit total, les matières sèches, l'azote total, le phosphore et le potassium. Le rendement de la séparation est calculé en pourcentage de la quantité de matière présente dans le lisier brut alimenté au séparateur mécanique.

LISIER BRUT			
	Essai 1	Essai 2	Essai 3
Débit calculé (kg/h)	7407	11960	8540
Matières sèches (kg/h)	257	169	114
Azote total (kg/h)	29	26	20
Phosphore (kg/h)	6.4	4.3	2.2
Potassium (kg/h)	10	8.9	8.0

LISIER TAMISÉ		
	Essai 1	Essai 2
Débit mesuré (m ³ /h)	7.07	11.4
Densité (g/cm ³)	1.0155	1.04825
Débit calculé (kg/h)	7180	11950
Matières sèches (kg/h)	230	167
Azote total (kg/h)	28	26
Phosphore (kg/h)	6.4	4.4
Potassium (kg/h)	10	9.3

SOLIDE DU TAMIS		
	Essai 1	Essai 2
Débit mesuré (kg/h)	227	10
Matières sèches (kg/h)	35	1.4
Azote total (kg/h)	1.2	0.045
Phosphore (kg/h)	0.23	0.0078
Potassium (kg/h)	0.27	0.0056

Bilan de la séparation sur tamis (%)		
	Essai 1	Essai 2
Masse	100.0	100.0
Matières sèches	103.3	99.9
Azote total	99.8	100.9
Phosphore	103.5	101.4
Potassium	99.3	103.6

Rendement de la séparation sur tamis (%)		
	Essai 1	Essai 2
Solide du tamis	3.1	0.087
Matières sèches	13	0.83
Azote total	4.2	0.17
Phosphore	3.6	0.18
Potassium	2.7	0.062

Figure 6 : Performances du séparateur sur tamis

Les rendements de la séparation montrent bien que le séparateur sur tamis est conçu pour séparer les particules grossières du lisier brut. En effet, le tamis retire 13 % des matières sèches du lisier brut qui contenait en moyenne 3,5 % de matière sèche lors de l'essai 1 alors que la performance d'enlèvement tombe à moins de 1 % pour les lisiers bruts contenant moins de 1,5 % de matière sèche des essais 2 et 3. Ainsi pour ces essais, les lisiers bruts et les lisiers tamisés ont pratiquement la même composition chimique.

5.3.2 Séparateur à air dissous

En utilisant les mêmes méthodes de calcul avec les débits mesurés durant les essais et les résultats d'analyse des échantillons prélevés, les rendements de la séparation du séparateur à air dissous sont calculés et présentés à la figure 9.

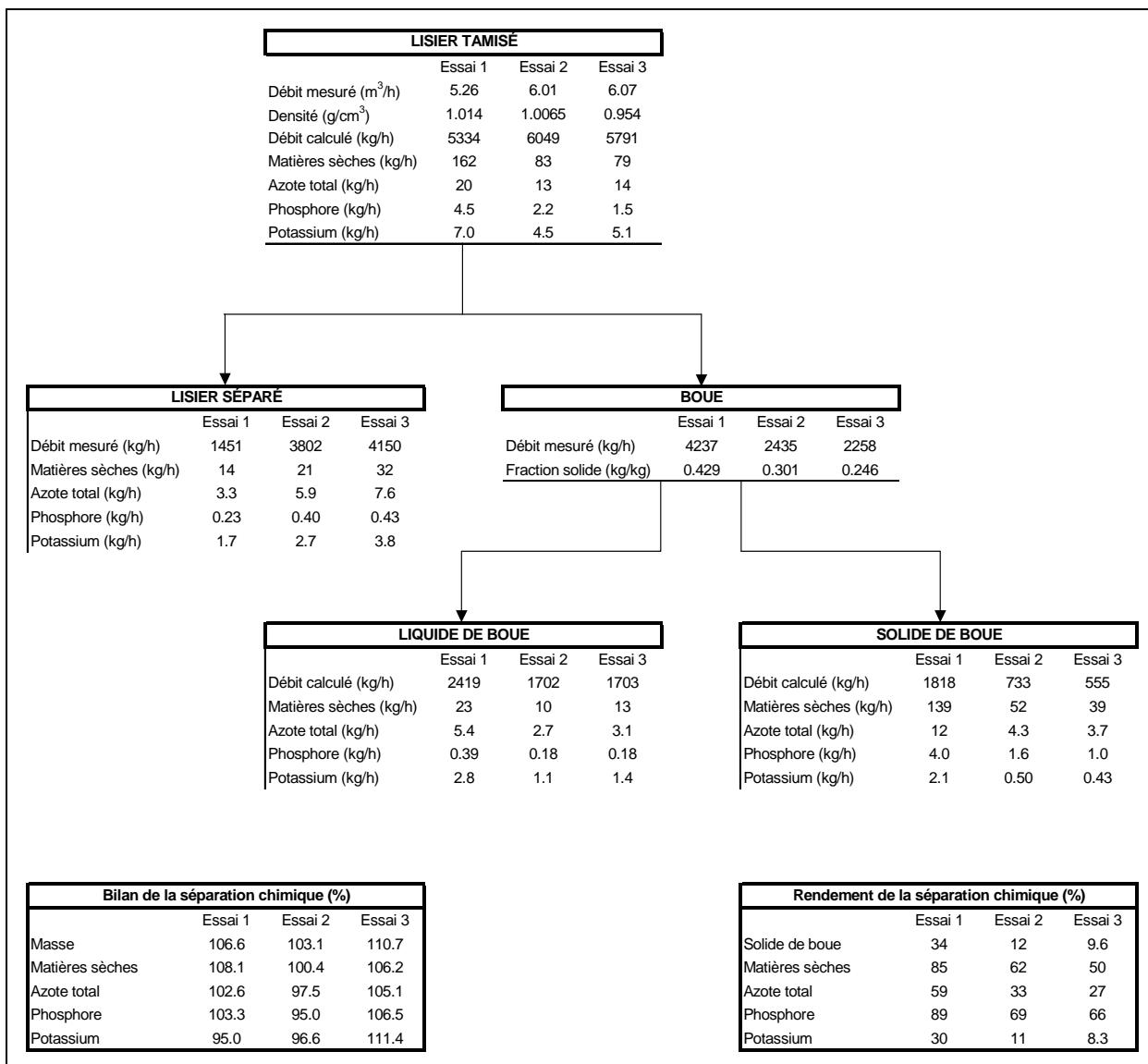


Figure 7 : Performances du séparateur à air dissous

Les taux de fermeture des bilans, qui vont de 95 à 111 %, démontrent bien la pertinence et la complémentarité des approches utilisées pour la détermination des débits et pour le prélèvement des échantillons ainsi que la justesse des résultats d'analyse des paramètres recherchés.

Les résultats montrent encore une fois que la performance de séparation est fonction de la teneur en matière sèche du lisier alors que les rendements les plus élevés sont obtenus pour le premier essai. De plus, les rendements de la séparation indiquent que le séparateur à air dissous concentre dans le solide de la boue une grande proportion des principaux paramètres visés par la séparation, soit les matières sèches et le phosphore qui y sont habituellement associés. En effet, de 50 à 85 % de la matière sèche et de 66 à 89 % du phosphore qui sont alimentés au séparateur sont évacués dans le solide de la boue.

Les résultats montrent aussi un transfert d'azote de 27 à 59 % vers le solide de la boue, ce qui est moins intéressant si un objectif de conservation de l'azote dans une phase liquide destinée à l'épandage est recherché mais qui est intéressant si cette fraction liquide est destinée à une forme d'irrigation pauvre en azote.

5.3.3 Traitement biologique

La figure 10 présente les transformations produites par le traitement biologique sur le lisier séparé alimenté au système biologique. Les calculs utilisent les débits de matière mesurés durant les trois essais de caractérisation ainsi que les analyses effectuées sur les échantillons prélevés.

ALIMENTATION DE LISIER SÉPARÉ				PERTES ATMOSPHÉRIQUES			
	Essai 1	Essai 2	Essai 3		Essai 1	Essai 2	Essai 3
Débit alimenté (l/h)	499	564	503	Débit mesuré (m ³ /h)	2058	3263	2826
Densité (g/cm ³)	1.00725	1.00425	0.9573333	CH ₄ (g/h)	62	60	71
Débit calculé (kg/h)	503	566	482	CO ₂ (g/h)	6507	6528	6455
Matières sèches (kg/h)	3.5	3.9	3.6	N ₂ O (g/h)	99	151	126
Azote total (kg/h)	0.84	1.1	0.88	NH ₃ (g/h)	12	21	20
Phosphore (kg/h)	0.040	0.049	0.045	Carbone (g/h)	1820	1825	1813
Potassium (kg/h)	0.45	0.49	0.44	Azote (g/h)	41	65	57

LISIER TRAITÉ			
	Essai 1	Essai 2	Essai 3
Débit soutiré (l/h)	353	381	316
Densité (g/cm ³)	1.003	1.00575	0.9581667
Débit calculé (kg/h)	354	383	303
Matières sèches (kg/h)	1.4	1.7	1.4
Azote total (kg/h)	0.033	0.078	0.042
Phosphore (kg/h)	0.0084	0.0098	0.0085
Potassium (kg/h)	0.27	0.29	0.29

Bilan du traitement biologique (%)			
	Essai 1	Essai 2	Essai 3
Masse	70.4	67.7	62.9
Matières sèches	38.9	43.7	38.6
Azote total	8.7	13.5	11.3
Phosphore	20.8	20.0	18.8
Potassium	60.4	58.8	64.9

Figure 8 : Performances du traitement biologique

Les résultats montrent que contrairement aux étapes de séparation, les bilans et les rendements du traitement biologique ne sont pas fonction des teneurs en matière sèche du lisier brut et que de toute façon les lisiers séparés alimentés au traitement biologique contiennent tous environ la même teneur en matière sèche.

Les résultats montrent aussi une perte moyenne de 33 % de matière entre l'alimentation de lisier séparé et la production de lisier traité. Bien que certaines unités du système de traitement soit à une température supérieure à l'ambiance, que certains bassins soient agités et que des effluents soient gicrés à l'air libre, il ne peut y avoir une perte aussi importante de matière par volatilisation. Il semble plutôt que les valves de vidange des décanteurs ne sont pas complètement étanches ce qui entraîne des pertes de cet ordre de grandeur. Ainsi ces pertes vers le réservoir de lisier brut devraient avoir des caractéristiques agronomiques intermédiaires entre celles du lisier

séparé et celles du lisier traité bien qu'à long terme le lisier traité soit le seul effluent résultant du traitement biologique.

L'efficacité du traitement biologique peut tout de même être estimée en comparant les bilans des différents paramètres avec celui du débit total de lisier traité. Si les bilans sont identiques, aucune perte ou aucun gain de matière n'a été produit par le traitement. Ainsi des réductions moyennes d'environ 40 % de la matière sèche, 84 % de l'azote total et 70 % du phosphore sont calculées.

La réduction des matières sèches en corollaire avec une augmentation de la teneur en cendres peut être attribuée à une digestion par certaines bactéries de la matière organique contenue dans les matières sèches. Ainsi les émissions de carbone sous forme de méthane et de dioxyde de carbone qui ont été mesurées durant les essais pourraient provenir du carbone émis durant cette digestion bactérienne. Cependant, une perte de matière sèche pourrait aussi survenir par décantation dans certaines des unités du traitement biologique.

La réduction de l'azote total démontre l'efficacité du traitement biologique dans le processus de nitrification/dénitrification de l'azote. Durant ce processus, des émissions de gaz azoté sous différentes formes se produisent. Une partie de cet azote gazeux a d'ailleurs été mesurée en oxyde nitreux et en ammoniac pour une quantité totale exprimée en azote atomique de 41 à 65 g/h, ce qui représente environ la même quantité d'azote que celle retrouvée dans le lisier traité qui est de 33 à 78 g/h. Cependant, une grande partie de l'azote libéré, plus de 85 %, n'a pas été mesurée, soit parce que la tentative de confinement des gaz du bâtiment n'était pas assez efficace, soit parce que la dénitrification produite par le traitement biologique est poursuivie jusqu'à l'étape ultime en azote moléculaire qui n'a pas été mesuré durant les essais.

La réduction du phosphore par le traitement biologique peut être attribuée à l'assimilation par les bactéries. En effet, l'oxydation des matières organiques est accompagnée par une consommation de l'azote et du phosphore dans un rapport de 100:5:1 respectivement (Metcalf et Eddy, 1991). Ce phosphore qui demeure dans la structure bactérienne est évacué vers la fosse de lisier brut via les décanteurs lorsque la population bactérienne meurt et décroche des supports bactériens. Une partie peut aussi être perdue avec la perte de matière sèche à laquelle est associé le phosphore.

5.3.4 Bilan massique global du procédé Sequencia

Puisque le procédé de traitement est formé de trois étapes indépendantes, l'établissement d'un bilan massique complet n'est pas possible en utilisant directement les débits mesurés durant les essais. En effet, les périodes de temps d'utilisation des étapes du procédé ne sont pas les mêmes et les unités possèdent plusieurs retours vers le réservoir de lisier brut. De plus, le lisier séparé à la sortie du séparateur à air dissous est déposé dans un réservoir tampon pour alimenter pour environ la moitié le traitement biologique alors que le restant est déposé dans une lagune pour irrigation. Finalement, l'écoulement discontinu provoque l'apparition de temps de résidence dans les différentes unités du traitement biologique.

Ainsi, pour établir un bilan massique complet, les caractéristiques moyennes du lisier brut, des deux fractions solides exportées et du lisier traité final ainsi que l'efficacité de séparation des fractions solides du séparateur sur tamis et du séparateur à air dissous seront utilisées pour calculer le cheminement des matières dans les différents produits issus du traitement d'un volume

type de 1 m³ ou environ 1000 kg de lisier brut. Évidemment, afin de refléter le traitement complet du lisier brut admis en tête de procédé, les étapes de traitement qui conduisent à un intermédiaire sont balancées à 100 % avec les produits qui sont exportés de la chaîne de traitement. La figure 11 présente le bilan massique complet pour le traitement de 1000 kg de lisier brut.

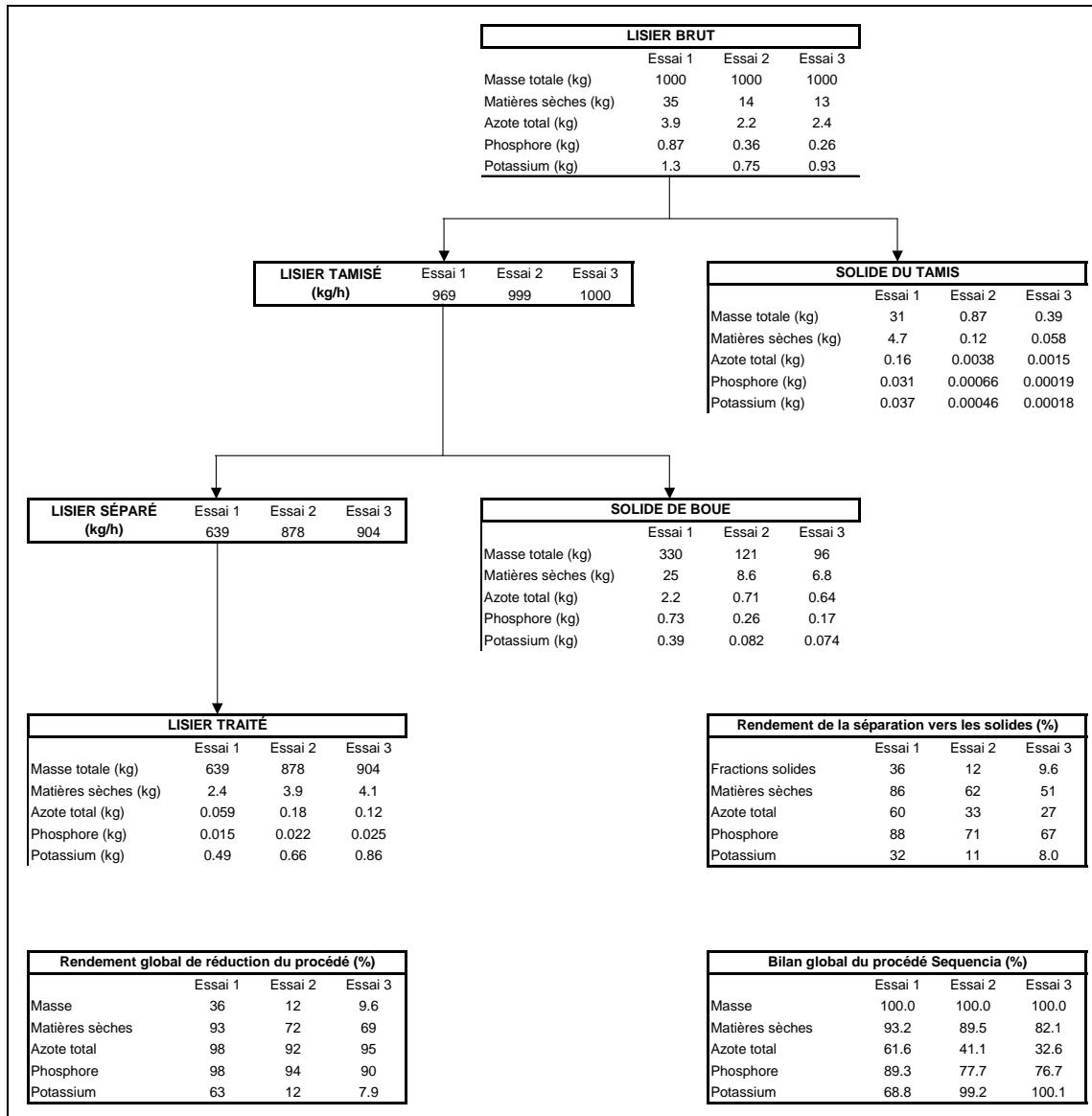


Figure 9 : Performances du procédé Sequencia

Les mêmes observations qui ont été faites séparément sur les bilans et les rendements d'extraction de chacune des étapes du traitement s'appliquent pour les bilans globaux et pour les rendements d'extraction vers les solides du procédé Sequencia. En effet, les rendements d'extraction vers les solides sont pratiquement identiques aux efficacités calculées pour la séparation chimique et sont fonction de la teneur en matière sèche du lisier brut. De plus, les pertes en matière sèche, en azote total et en phosphore constatées dans les bilans globaux proviennent principalement des pertes constatées pour le traitement biologique.

Ainsi, selon la teneur en matière sèche du lisier de départ, de 51 à 86 % des matières sèches du lisier brut sont transférées dans les fractions solides évacuées du procédé. De plus, avec l'ajout du traitement biologique, la chaîne de traitement peut réduire de 69 à 93 % la teneur en matière sèche du lisier.

Bien que de 27 à 60 % de l'azote du lisier brut soit transféré dans les fractions solides du procédé, l'ajout du traitement biologique permet d'augmenter substantiellement ce rendement et ainsi d'obtenir un lisier traité dans lequel de 92 à 98 % de l'azote a été retiré.

Les unités utilisées pour la séparation physico-chimique permettent de concentrer dans les fractions solides du procédé, de 67 à 88 % du phosphore du lisier brut. De plus, le traitement biologique permet de retirer une portion supplémentaire du phosphore du lisier pour augmenter le rendement d'enlèvement de 90 à 98 %.

Les données permettent aussi de remarquer que le rapport de la masse totale d'un solide sur la teneur en matière sèche du même solide, qui est d'environ 7 pour le solide du tamis, devient environ 14 pour la fraction solide de la boue. Cela démontre que la fraction solide de la boue est grandement hydratée lors de sa disposition et suggère aussi que les polymères de coagulation et de floculation s'hydrolysent rapidement lors de l'utilisation.

CONCLUSION

Les procédures de travail mises en œuvre pour caractériser le procédé de traitement des lisiers, incluant la détermination des débits, la méthode de prélèvement ainsi que l'analyse des échantillons prélevés, permettent de dresser un portrait fidèle du cheminement des matières à travers le procédé Sequencia. Ces résultats devront cependant être combinés avec les données financières du procédé afin d'établir les coûts du traitement.

Les approches utilisées pour le choix des points de contrôle, pour la détermination des débits des effluents, pour le prélèvement des échantillons, pour la caractérisation des échantillons et pour le calcul des bilans et des rendements pourront être proposées à d'autres concepteurs ou promoteurs de technologie de traitement des lisiers pour l'évaluation complète et comparative de leurs procédés.

Les débitmètres magnétiques sont des instruments adéquats pour mesurer les débits dans des effluents de lisier de porcs même si les débits sont intermittents, de faibles fréquences et de faibles amplitudes.

La chaîne de traitement Sequencia peut permettre de transférer dans les fractions solides exportées du procédé jusqu'à respectivement 86, 60 et 88 % des matières sèches, de l'azote total et du phosphore contenus dans le lisier brut alimenté au procédé. De plus, si un traitement biologique est fait sur le lisier séparé issu des unités de séparation physico-chimique, le lisier traité final du procédé pourrait contenir seulement 7 % des matières sèches, 2 % de l'azote total et 2 % du phosphore que contenait le lisier brut alimenté au procédé.

Les rendements d'extraction des matières vers les solides sont plus élevés lorsque la teneur en matière sèche du lisier brut est plus élevée alors que l'efficacité du traitement biologique ne varie pas.

Les analyses des échantillons prélevés durant le projet sont des outils qui peuvent permettre aux agronomes d'évaluer le potentiel de valorisation agronomique des différentes fractions issues de la chaîne de traitement.

La chaîne de traitement Sequencia permet de réduire la charge organique du lisier en abaissant la demande chimique en oxygène et permet aussi d'assainir le lisier traité par le procédé en abaissant substantiellement la charge bactérienne *Escherichia coli*, bien que cette dernière reste nettement concentrée dans les fractions solides.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, l'Institut de recherche et de développement en agroenvironnement inc. (IRDA) et le groupe Aliments Breton inc. pour leurs soutiens financiers dans la réalisation du projet.

Les auteurs veulent aussi remercier le personnel qui s'est joint à eux pour certaines étapes du projet, notamment monsieur Vincent Fortin du groupe Aliments Breton inc., pour son implication lors de l'installation du chantier et le prélèvement du premier essai, messieurs Alexandre Lévesque et Rémi Carrier de l'IRDA pour leur participation au prélèvement des échantillons, madame Alexandra Miranda-Chang pour la revue de littérature sur les additifs au procédé, l'ensemble du personnel du laboratoire de monsieur Pierre Audesse de l'IRDA pour l'analyse des échantillons ainsi que l'aide dans la gestion du projet de monsieur Roch Joncas de l'IRDA.

BIBLIOGRAPHIE

AGÉCO. 2002. Groupe AGÉCO, Agroalimentaire et économie. 2002. Impact économique de la croissance de l'industrie porcine au Québec. Rapport final. 1^{er} novembre 2002. 21 pages.

BAPE. 2003. Bureau d'audiences publiques sur l'environnement. 2003. Rapport 179. Consultation publique sur le développement durable de la production porcine au Québec – Volume 2. Les préoccupations et les propositions de la population au regard de la production porcine. Rapport d'enquête et d'audience publique. Septembre 2003.

Béline, F. 2001. Le traitement biologique aérobiose du lisier de porc – Les transformations de l'azote et les émissions gazeuses polluantes. CEMAGREF. Collection études du Cemagref, Série équipements pour l'eau et l'environnement n°26. 134 p.

Caulfield, M.J., G.G. Qiao et D.H. Solomon. 2002. Some aspects of the properties and degradation of polyacrylamides. American Chemical Society. 102: 3067-3083.

CEAEQ. 1999. Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec. 1999. Méthode d'analyse. Dénombrement des coliformes fécaux : méthode par tubes multiples. MA. 700 – Fec-tm 1.0. Ministère de l'Environnement du Québec. Édition : 1999.

CEAEQ. 2002. Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec. 2002. Détermination des dibenzo-para-dioxines polychlorés et dibenzofuranes polychlorés; Dosage par chromatographie en phase gazeuse couplée à un spectromètre de masse. MA. 400 – D.F. 1.0, Ministère de l'Environnement du Québec, 2002, 40 p.

DIOXIN. 2004. Proceedings of the 24th International symposium on halogenated environmental organic pollutants and persistent organic pollutants (POPs). Organohalogen Compounds Volume 66. Berlin. September 6-10, 2004.

GTT. 1998. Groupe de travail « Transfert technologique ». 1998. Évaluation des techniques et technologies alternatives de gestion et de traitement du lisier de porc. Plan agroenvironnemental de la production porcine.

GTT. 2001. Groupe de travail « Transfert technologique ». 2001. Rapport d'évaluation des technologies de gestion et de traitement du lisier de porc. Plan agroenvironnemental de la production porcine.

Kay-Shoemake, J.L., M.E. Watwood, R.D. Lentz et R.E. Sojka. 1998. Polyacrylamide as an organic nitrogen source for soil microorganisms with potential effects on inorganic soil nitrogen in agricultural soil. Soil Biology Biochemistry. 30(8/9): 1045-1052.

LPM Technologies. Les polymères hydrosolubles : coagulation et flocculation. 30 pages.

Lu, J., L. Wu, J. Letey, et W.J. Farmer. 2002. Organic compounds in the environment. Environmental Quality. 31: 1226-1233.

Marroni, D. 1999. Profil environnemental des polyacrylamides cationiques (type ester). SNF S.A. Réglementation. France. 1 page.

Metcalf et Eddy. 1991. Wastewater Engineering : Treatment, disposal and reuse. Third Edition. McGraw-Hill, inc.

Seybold, C.A. 1994. Polyacrylamides toxicity. Communication Soil Science. 25(5): 2171.

Smith, E.A., S.L. Prues et F.W. Oehme. 1996. Environmental degradation of polyacrylamides. Ecotoxicology and Environmental Safety. 37: 37-91.

Zhang, R.H. et F. Lei. 1998. Chemical treatment of animal manure for solid-liquid separation. Transactions of the ASAE. 41(4): 1103-1108.

TRANSFERT DES RÉSULTATS

Puisque le projet a été réalisé dans une optique de démonstration d'une technologie existante pour le traitement du lisier de porcs, les résultats des travaux seront surtout utilisés pour faire connaître la technologie développée par le groupe Aliments Breton inc.

Les résultats seront utilisés par le concepteur de la technologie pour les discussions que mène ce dernier avec les partenaires du ministère de l'Environnement du Québec dans le cadre de l'étude de certificats d'autorisation requis pour l'utilisation de cette technologie dans des installations de production porcine actuelles ou futures.

Les résultats seront aussi utilisés par le promoteur de la technologie pour compléter une fiche technique qui sera soumise pour évaluation au Groupe de travail «Transfert technologique».

Les données techniques permettront aux professionnels du milieu agricole d'intégrer le système de traitement Sequencia ou des systèmes analogues comportant des étapes de traitement semblables dans une approche de gestion du devenir de l'azote et du phosphore à la ferme.

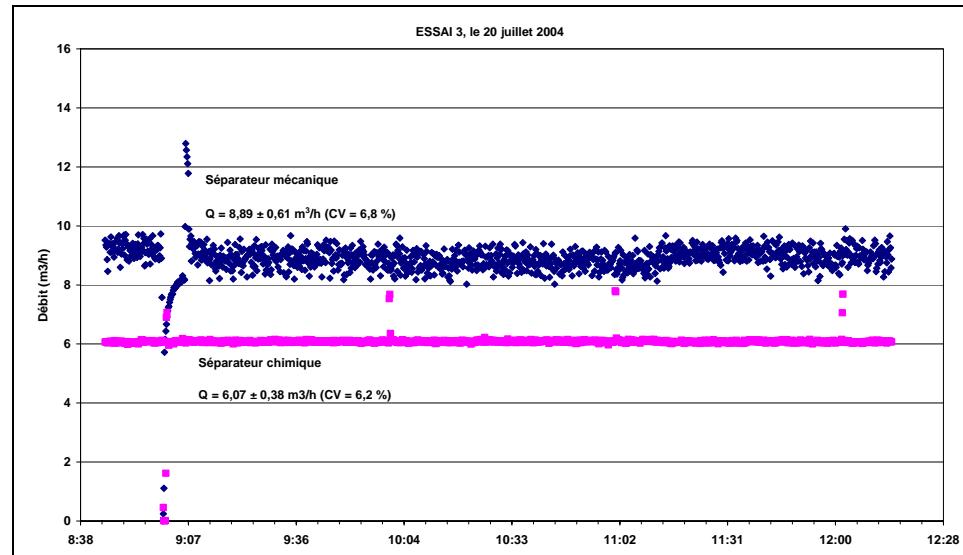
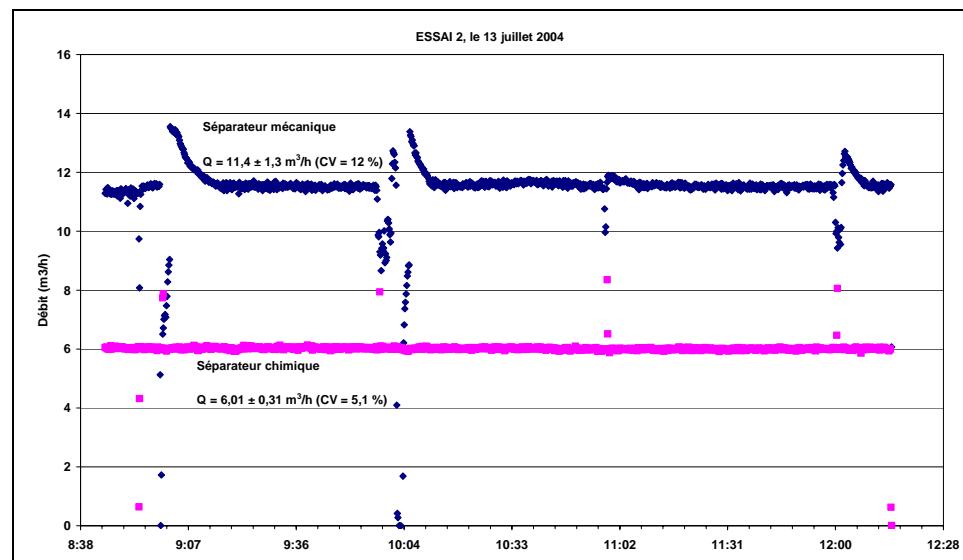
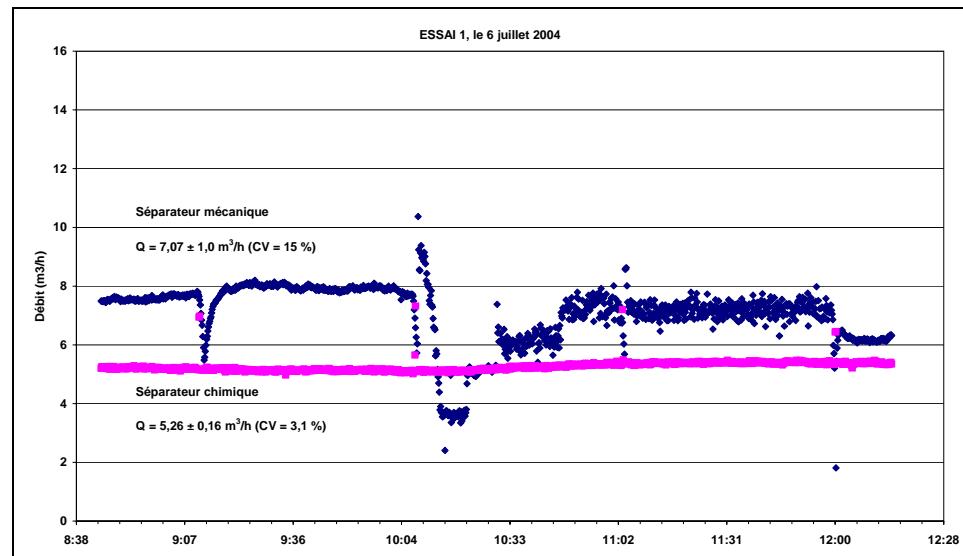
Les données permettront aussi de déterminer l'intérêt agronomique de l'utilisation des fractions liquide et solide du procédé dans l'élaboration d'un plan agroenvironnemental de fertilisation (PAEF).

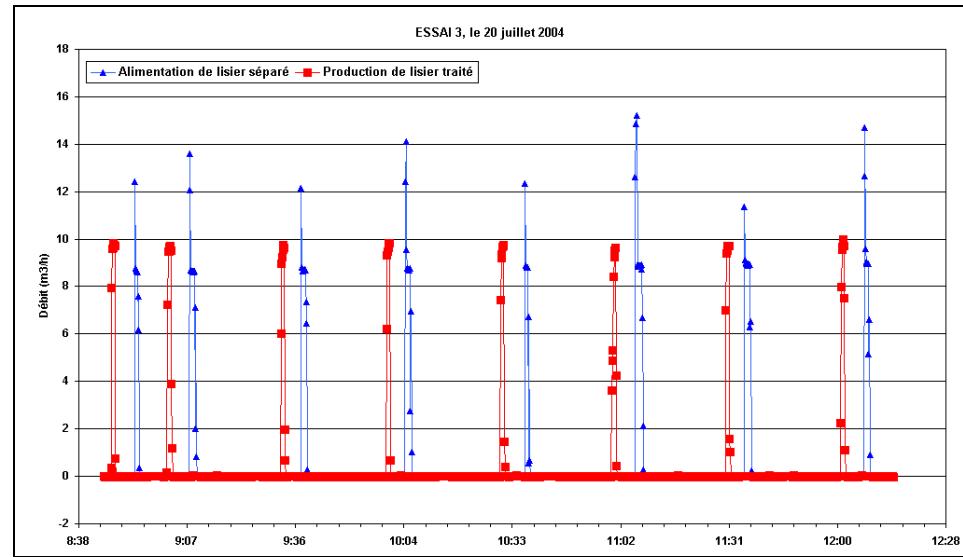
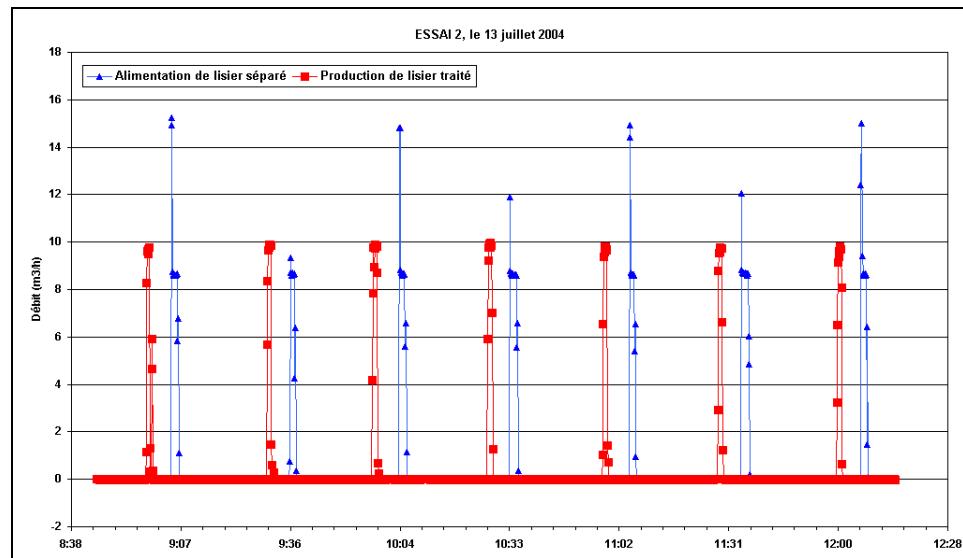
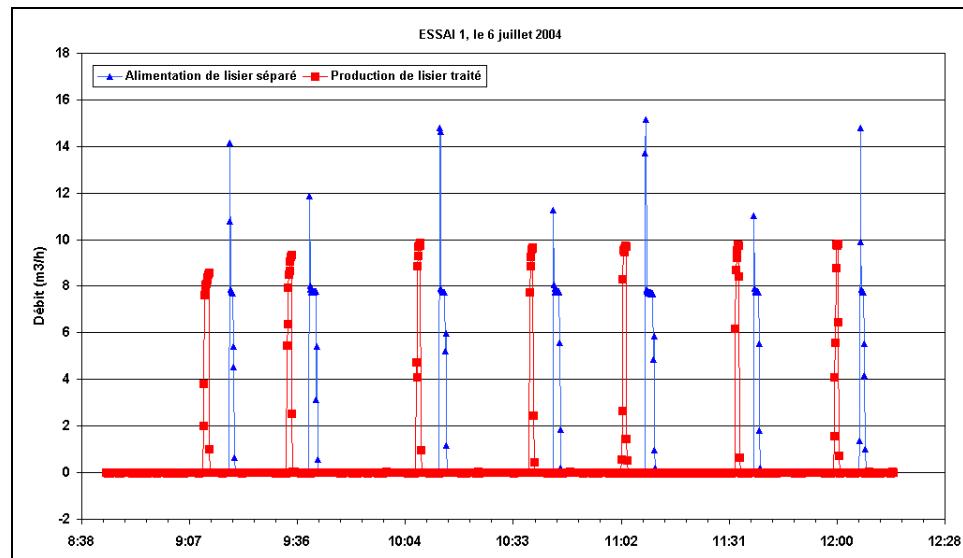
Les approches utilisées pour le choix des points de contrôle, pour la détermination des débits des effluents, pour le prélèvement des échantillons et pour la caractérisation des échantillons pourront être proposées à d'autres concepteurs ou promoteurs de technologies de traitement des lisiers pour l'évaluation complète de leurs procédés.

DIFFUSION DES RÉSULTATS

Un article pour publication dans la revue Porc Québec de la Fédération des producteurs de porcs du Québec ainsi qu'une participation à un congrès du milieu agricole ou environnemental seront préparés durant l'année 2005.

ANNEXES





Résultats d'analyse Essai 1									
	Lisier brut	Solide du tamis	Lisier tamisé avant trop-plein	Lisier tamisé après trop-plein	Solide de la boue	Liquide de la boue	Lisier séparé	Lisier séparé alimenté au traitement biologique	Lisier traité
Densité (g/cm ³)	1.01	1.05	1.02	1.01	0.99	1.01	1.01	1.01	1.00
pH	7.22	7.81	7.26	7.28	7.37	7.65	7.58	7.72	7.61
Matières sèches (% poids)	3.5	15	3.2	3.0	7.6	1.0	0.93	0.69	0.38
Cendres (% poids sec)	26	6.9	28	27	21	45	47	45	68
N total (mg/kg)	3886	5267	3834	3782	6576	2251	2266	1673	92
N-NH ₄ (mg/kg)	1963	1918	1969	1993	1984	1688	1697	1237	47
N-NO ₃ (mg/kg)	1.2	2.5	0.91	1.4	1.2	0.18	0.094	0.032	161
Phosphore (mg/kg)	868	1027	894	841	2203	162	160	80	24
Potassium (mg/kg)	1338	1197	1333	1316	1177	1158	1188	902	774
Calcium (mg/kg)	798	1263	828	749	1907	213	208	155	56
Magnésium (mg/kg)	491	531	502	477	1261	90	90	52	32
Aluminium (mg/kg)	18	30	19	17	45	8.6	6.5	6.4	9.3
Bore (mg/kg)	1.8	4.3	1.8	1.7	2.2	1.3	1.3	1.0	0.73
Cuivre (mg/kg)	29	36	29	28	85	1.3	0.75	0.54	0.31
Fer (mg/kg)	94	186	93	90	266	4.0	6.1	2.3	1.4
Manganèse (mg/kg)	23	32	23	21	60	2.2	2.0	0.80	0.070
Zinc (mg/kg)	56	68	57	54	160	2.3	0.96	0.90	0.25
Sodium (mg/kg)	451	453	452	436	408	425	423	332	265
Chlorures (mg/kg)	1042	340	1028	1028	660	914	901	691	558
C/N	3.3	13	3.0	2.9	4.6	1.2	1.1	1.1	6.6
DCO (mg/L)	58 000	nd	51 500	51 500	nd	15 950	15 525	9 748	948
Coliformes (NPP/ml ou g)	645 000	1 600 000	nd	nd	790 000	95 750	nd	9 250	395
Salmonella	présence	présence	nd	nd	présence	présence	nd	absence	présence

Résultats d'analyse Essai 2									
	Lisier brut	Solide du tamis	Lisier tamisé avant trop-plein	Lisier tamisé après trop-plein	Solide de la boue	Liquide de la boue	Lisier séparé	Lisier séparé alimenté au traitement biologique	Lisier traité
Densité (g/cm ³)	1.01	1.02	1.05	1.01	0.92	1.01	1.00	1.00	1.01
pH	7.41	8.17	7.40	7.37	7.31	7.64	7.51	7.66	7.58
Matières sèches (% poids)	1.4	13	1.4	1.4	7.1	0.60	0.57	0.69	0.45
Cendres (% poids sec)	32	5.5	31	31	19	43	47	48	59
N total (mg/kg)	2183	4329	2201	2182	5901	1564	1547	1863	203
N-NH ₄ (mg/kg)	1367	1368	1385	1391	1710	1232	1231	1533	74
N-NO ₃ (mg/kg)	0.93	2.1	0.74	0.75	0.87	0	1.7	0	73
Phosphore (mg/kg)	360	754	365	371	2118	106	105	87	26
Potassium (mg/kg)	748	534	775	748	678	674	716	864	751
Calcium (mg/kg)	318	1020	318	326	1786	111	108	143	47
Magnésium (mg/kg)	184	362	188	192	1195	43	44	43	23
Aluminium (mg/kg)	7.9	20	8.1	8.8	38	8.6	7.1	6.7	22
Bore (mg/kg)	1.0	2.9	1.0	1.0	1.5	0.88	0.89	1.1	0.92
Cuivre (mg/kg)	10	27	11	10	84	0.91	0.78	0.66	0.45
Fer (mg/kg)	31	125	31	30	214	2.5	1.7	3.0	1.8
Manganèse (mg/kg)	10	29	10	11	73	1.1	0.93	0.75	0.070
Zinc (mg/kg)	18	39	19	19	140	1.1	0.73	0.69	0.62
Sodium (mg/kg)	378	475	377	385	440	388	378	425	396
Chlorures (mg/kg)	731	683	722	755	973	674	668	822	768
C/N	2.2	15	2.2	2.2	4.8	1.1	0.96	0.96	4.4
DCO (mg/L)	20 750	nd	20 750	22 000	nd	9 585	9 583	13 500	1 200
Coliformes (NPP/ml ou g)	215 000	335 000	nd	nd	600 000	60 000	nd	1 725	65
Salmonella	abs/présence	absence	nd	nd	absence	présence	nd	absence	absence

Résultats d'analyse Essai 3									
	Lisier brut	Solide du tamis	Lisier tamisé avant trop-plein	Lisier tamisé après trop-plein	Solide de la boue	Liquide de la boue	Lisier séparé	Lisier séparé alimenté au traitement biologique	Lisier traité
Densité (g/cm ³)	0.96	1.02	0.96	0.95	0.86	0.95	0.95	0.96	0.96
pH	7.34	7.95	7.37	7.39	7.29	7.59	7.54	7.62	7.87
Matières sèches (% poids)	1.3	15	1.4	1.4	7.1	0.76	0.76	0.74	0.46
Cendres (% poids sec)	35	5.7	35	33	19	46	48	50	73
N total (mg/kg)	2350	3929	2354	2364	6663	1801	1836	1820	138
N-NH ₄ (mg/kg)	1582	1514	1630	1636	1866	1509	1514	1513	106
N-NO ₃ (mg/kg)	0.82	1.6	0.47	0.71	1.3	0	0	0	42
Phosphore (mg/kg)	261	504	258	263	1817	104	105	94	28
Potassium (mg/kg)	931	468	908	887	771	850	927	920	949
Calcium (mg/kg)	274	856	270	274	1770	132	135	135	48
Magnésium (mg/kg)	133	224	133	134	939	52	53	45	22
Aluminium (mg/kg)	11	28	13	14	43	13	8.9	10	11
Bore (mg/kg)	1.2	3.8	1.2	1.2	1.9	1.0	1.1	1.1	1.0
Cuivre (mg/kg)	8.7	15	8.5	8.4	93	0.80	0.68	0.72	0.43
Fer (mg/kg)	24	134	25	25	244	3.4	2.2	2.4	1.8
Manganèse (mg/kg)	6.4	20	6.4	6.5	61	1.0	0.94	0.70	0
Zinc (mg/kg)	14	29	14	14	149	1.3	0.84	1.1	0.40
Sodium (mg/kg)	517	585	537	530	562	485	491	494	416
Chlorures (mg/kg)	945	858	936	960	1079	850	880	865	820
C/N	1.8	18	1.9	1.9	4.3	1.1	1.1	1.0	4.4
DCO (mg/L)	21 000	nd	21 000	21 167	nd	11 675	12 000	11 833	1 133
Coliformes (NPP/ml ou g)	180 000	65 000	nd	nd	405 000	27 250	nd	18 250	180
Salmonella	absence	absence	nd	nd	absence	absence	nd	absence	absence

Analyse des éléments toxiques en traces												
	Lisier brut			Solide de la boue			Lisier séparé			Lisier traité		
	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Essai 1	Essai 2	Essai 3
Arsenic (mg/kg)	0.049	0.023	0.018	0.164	0.148	0.142	0.006	0.004	0.004	0.004	0.004	0.003
Cadmium (mg/kg)	0.011	0.005	0.003	0.036	0.038	0.032	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.007
Cobalt (mg/kg)	0.155	0.082	0.075	0.513	0.495	0.520	0.026	0.022	0.026	0.018	0.019	0.021
Chrome (mg/kg)	0.198	0.068	0.058	0.592	0.505	0.489	0.018	0.020	0.020	0.148	0.035	0.025
Mercure (mg/kg)	0.007	0.002	0.000	0.012	0.002	0.000	0.013	0.001	0.000	0.008	0.000	0.000
Molybdène (mg/kg)	0.363	0.170	0.133	1.307	1.306	1.256	0.014	0.015	0.009	0.028	0.012	0.011
Nickel (mg/kg)	0.316	0.153	0.150	0.932	0.896	1.032	0.066	0.032	0.052	0.054	0.043	0.039
Plomb (mg/kg)	0.030	0.016	0.011	0.111	0.129	0.119	0.008	0.003	0.004	0.003	0.001	0.004
Sélénium (mg/kg)	0.147	0.067	0.052	0.534	0.530	0.540	0.004	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000