

Évaluation par bilan massique du procédé Sequencia de traitement du lisier

*J-P. Larouche ¹, Y. Martineau ², F. Pelletier ¹ et F. Léveillé ¹

Résumé, *J-P. Larouche ¹, Y. Martineau ², F. Pelletier ¹ et F. Léveillé ¹. **Évaluation par bilan massique du procédé Sequencia de traitement du lisier.** *Agrosol.* 16 (2) : 145-154. Le procédé Sequencia utilisé pour le traitement du lisier de porcs, comprend trois étapes bien distinctes qui fonctionnent indépendamment les unes des autres. Les deux premières étapes, une séparation mécanique avec un séparateur de type presse à rouleaux et une séparation chimique dans un séparateur à air dissous avec ajout de polymères organiques, permettent la séparation des solides du lisier et fournissent la fraction liquide qui alimente les biofiltres du traitement biologique de la troisième étape du procédé. La détermination des débits ainsi que l'échantillonnage et l'analyse de plusieurs effluents du procédé ont permis d'établir le bilan massique complet du procédé et aussi de calculer les efficacités de séparation ou de réduction de la matière sèche et des principaux éléments fertilisants à chacune des étapes de la chaîne. Dans sa totalité, le procédé Sequencia incluant la séparation mécanique, la séparation chimique et le traitement biologique, permet de retirer en moyenne 79 % de la matière sèche, 94 % de l'azote, 96 % du phosphore et 18 % du potassium contenus dans le lisier brut. Durant le traitement, la majorité du phosphore est concentré dans les fractions solides tandis que l'azote est éliminé sous forme gazeuse. Plusieurs des autres paramètres analysés suivent des tendances de distribution semblables à celles du phosphore. Les concentrations d'éléments minéraux (calcium, magnésium, aluminium, bore, cuivre, fer, manganèse et zinc) et de bactéries (*E. coli*) sont maximales dans les fractions solides suite aux deux étapes de séparation et significativement plus faibles dans les effluents liquides.

Mots clés : lisier de porcs, traitement biologique, séparation, bilan massique.

Abstract, *J-P. Larouche ¹, Y. Martineau ², F. Pelletier ¹ and F. Léveillé ¹. **Mass balance evaluation of the Sequencia pig manure treatment system.** *Agrosol.* 15 (2) : 145-154. The Sequencia pig manure treatment system was composed of three distinctive steps. The first two steps, a mechanical separation by a roller press separator followed by a chemical separation with dissolved air and polymers, were used to separate the solids from the manure. After separation, the liquid fraction was treated in a biological aerobic treatment. Flow rate measurements, manure sampling and analysis were used to realize a complete mass balance evaluation of the treatment system and to evaluate separation efficiency of dry matter and nutrients after the different steps. The complete treatment was efficient to remove 79 % of the dry matter, 94 % of the nitrogen, 96 % of the phosphorus and 18 % of the potassium from the raw manure. During treatment, phosphorus was concentrated in the solid fraction while nitrogen was removed in gaseous form. Mineral element (calcium, magnesium, aluminium, boron, copper, iron, manganese and zinc) and bacteria (*E. coli*) concentrations followed the same trend of the phosphorus; their concentrations were higher in the solid fraction after separation and significantly lower in the liquid fraction after biological treatment.

Key words: pig manure, biological treatment, separator, mass balance.

1. Institut de recherche et de développement en agroenvironnement inc. (IRDA)
2700, rue Einstein, Sainte-Foy, Québec, Canada, G1P 3W8

*Auteur pour la correspondance : téléphone : (418) 644-6820, télécopieur : (418) 644-6855, courriel : jean-p.larouche@irda.qc.ca

2. Aliments Breton inc., 251 avenue Boyer, Saint-Charles-de-Bellechasse (Québec), G0R 2T0, Canada.

Introduction

Au Québec, la presque totalité des lisiers produits par les porcs sont entreposés dans des fosses en béton avant d'être épandus dans les champs comme fertilisant. Le lisier est ainsi entreposé sous des conditions anaérobies ce qui entraîne la transformation du lisier et des émissions de gaz et d'odeurs potentiellement dommageables pour l'environnement. Tel que démontré par la 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, plus 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.

Différentes technologies sont présentement disponibles pour le traitement des lisiers. Ces technologies utilisent principalement la combinaison d'une séparation solide/liquide et une digestion aérobie ou anaérobie. Plusieurs systèmes de traitement basés sur l'aération du lisier sont répertoriés dans la littérature et ont permis d'en démontrer l'efficacité pour le traitement du lisier de porcs, principalement au niveau de la réduction de la demande chimique en oxygène et de la réduction de la concentration en azote dans le lisier (Béline et al. 2004; Westerman et Bicudo 2002).

Des études réalisées dans l'état de la Caroline-du-Nord (Westerman et al. 2000; Westerman et Arogo 2005) combinant l'aération du lisier et l'utilisation de biofiltres ont permis de prouver l'efficacité de ce genre de système pour le traitement du lisier de porcs. Westerman et al. (2000) ont étudié un système de traitement composé d'un séparateur mécanique de type presse à vis et de deux biofiltres installés en série suivis de deux bassins de sédimentation. Les résultats de l'étude ont montré que le système permettait de retirer environ

75 % de la demande chimique en oxygène (DCO), 94 % de l'azote ammoniacal et 61 % de l'azote total. Westerman et Arogo (2005) ont étudié un système de traitement combinant l'aération du lisier et l'utilisation d'un biofiltre. Les résultats de l'étude ont montré que le système permettait de retirer environ 70 % de la DCO, 95 % de l'azote ammoniacal et 93 % de l'azote total.

Le but du présent projet était de réaliser le bilan massique complet du procédé de traitement Sequencia. Les moyens utilisés ont été de mesurer les débits de traitement de chacune des étapes de la chaîne, d'échantillonner et d'analyser les principaux effluents du procédé et de déterminer les efficacités de séparation de la matière sèche et des principaux éléments fertilisants dans les fractions solides et liquides produites à chacune des étapes de la chaîne. Le texte qui suit est un condensé du rapport final du projet (Larouche et al. 2005) dans lequel sont regroupés l'ensemble des données recueillies, les résultats d'analyse ainsi que les calculs complets effectués pour dresser le bilan massique du procédé.

Matériel et méthodes

Description du système de traitement

Le procédé de traitement qui a été étudié dans le cadre de ce projet est installé sur une des fermes porcines d'Aliments Breton inc. à Saint-Gervais de Bellechasse et traite le lisier produit par 4210 porcs à l'engraissement. Tous les animaux sont logés dans des bâtiments qui sont sous une gestion tout plein/tout vide et ont été nourris avec des moulées en granules sèches selon une régie alimentaire en trois phases dont les principaux ingrédients incluent le maïs, le blé et le tourteau de soya.

Le procédé Sequencia comprend trois étapes bien distinctes qui fonctionnent indépendamment les unes des autres. Les deux premières étapes, une séparation mécanique et une séparation chimique, permettent la séparation des solides et des liquides du lisier et fournissent la fraction liquide qui alimente le traitement biologique de la troisième étape.

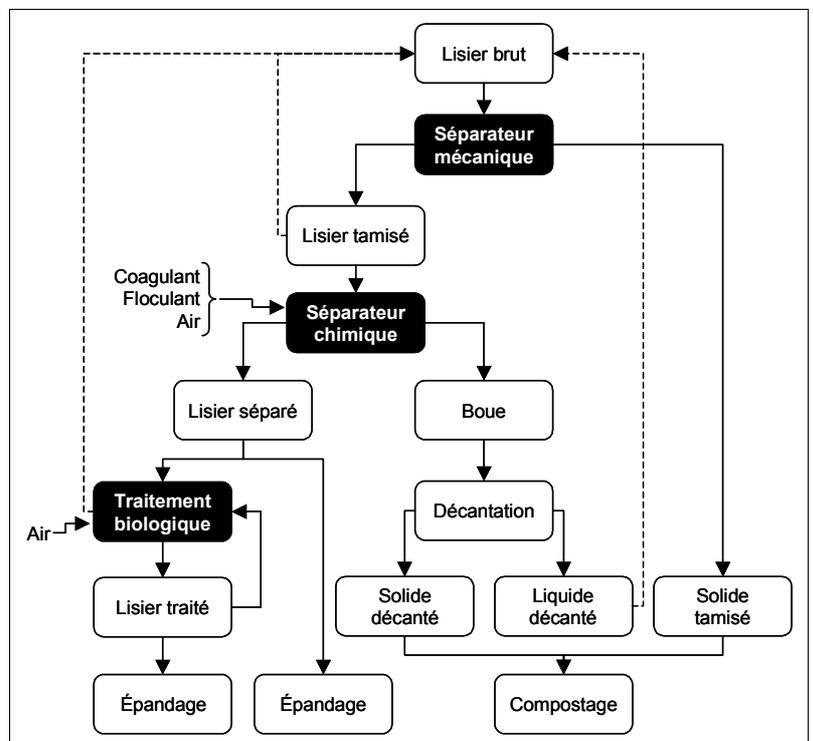


Figure 1. Schéma du procédé Sequencia.

Les étapes de séparation solide/liquide fonctionnent normalement durant les heures ouvrables de la semaine alors que le traitement biologique est un procédé en boucle continue (24/24) qui est alimenté de façon discontinue.

Tous les équipements de la chaîne de traitement sont installés à l'intérieur d'un même bâtiment. La figure 1 présente un diagramme d'écoulement schématisé de la chaîne de traitement complète.

Séparation mécanique

La première étape du procédé est une séparation mécanique réalisée avec un séparateur de type presse à rouleaux qui permet de retirer les particules grossières du lisier, qui sont principalement les pails et les résidus de moulée. La séparation est provoquée par le passage successif de rouleaux et de brosses sur un tamis formant la paroi inférieure de la presse. Le séparateur peut traiter environ 9 m³ de lisier brut à l'heure.

À la sortie du séparateur, la fraction liquide, qui est appelée lisier tamisé, est entreposée temporairement dans un puits. Une partie du lisier tamisé est dirigée vers la séparation chimique tandis que le surplus, non séparé chimiquement, est renvoyé dans la fosse de lisier brut. La fraction solide, qui est appelée le solide tamisé, est entreposée temporairement dans une structure d'entreposage couverte avant d'être exportée vers un centre de compostage.

Séparation chimique

La deuxième étape du procédé est une séparation chimique à l'aide d'un séparateur à air dissous dans lequel des polymères organiques sont ajoutés dans le but de favoriser l'agglomération des particules solides du lisier. L'injection d'air et d'additifs provoque des interactions chimiques avec les particules du lisier et entraîne la formation d'une boue qui flotte à la surface du séparateur et d'une fraction liquide qui est appelée lisier séparé. Ce modèle de séparateur peut traiter jusqu'à 10 m³ de lisier à l'heure.

Le lisier séparé est accumulé dans un réservoir destiné au traitement biologique alors que le surplus est entreposé dans une lagune extérieure pour être épandu au champ comme source d'azote faible en phosphore. La boue est écumée sur le dessus du séparateur puis déposée temporairement dans un réservoir pour décantation naturelle à travers une fine grille filtrante. La fraction liquide produite est appelée liquide décanté et est renvoyée dans la fosse de lisier brut tandis que la fraction solide, appelée solide décanté, est transportée vers un centre de compostage.

Le coagulant cationique (figure 2) utilisé pour regrouper les fines particules en suspension dans le lisier 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 (LPM Technologies 2001). La quantité utilisée dans le séparateur à air dissous est d'environ 160 g/m³ de lisier.

Le floculant cationique (figure 3), dont la fonction est de rassembler les particules coagulées pour former des floccs qui flottent à la surface du lisier, 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) (LPM Technologies 2001). La quantité utilisée dans le séparateur à air dissous est d'environ 70 g/m³ de lisier.

Traitement biologique

La troisième étape du procédé Sequencia, le traitement biologique, comprend plusieurs unités à travers lesquelles circule le lisier en cours de traitement (figure 4). Périodiquement, à une fréquence déterminée pour maintenir les conditions optimales, la première cuve de mélange est alimentée à parts égales par du lisier séparé et par un retour de l'effluent final de lisier traité. Par la suite, l'effluent de la cuve de mélange est dirigé vers un réacteur à culture fixe submergée. Le

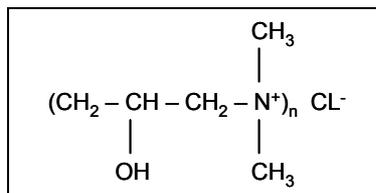


Figure 2. Coagulant cationique.

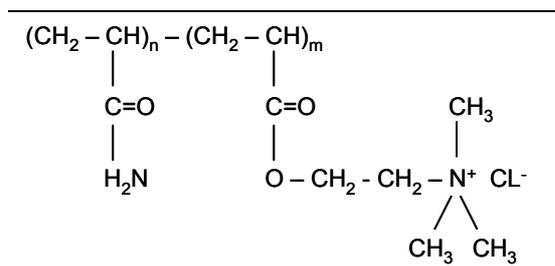


Figure 3. Floculant cationique.

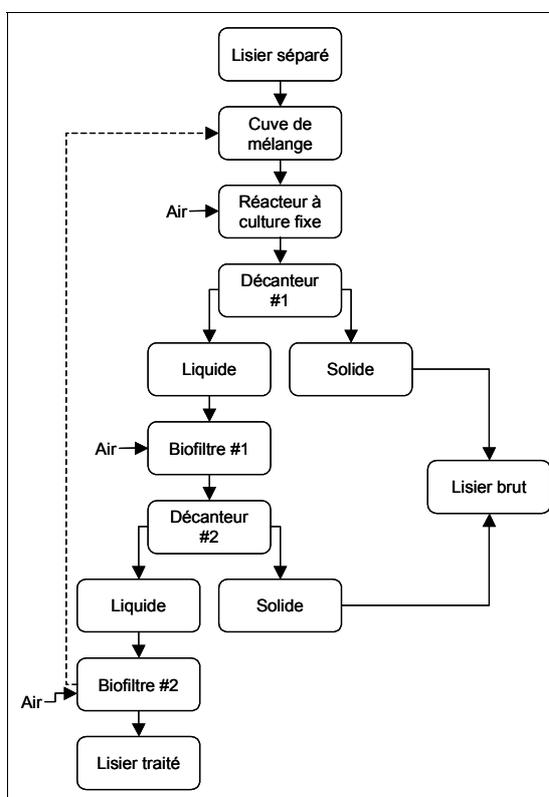


Figure 4. Schéma du traitement biologique du procédé Sequencia.

flux liquide est ensuite alimenté dans deux biofiltres installés en série. À la fin du traitement biologique, le liquide produit, qui est appelé le lisier traité, est entreposé dans une lagune extérieure pour être épandu au champ.

La première cuve de mélange est maintenue en condition anaérobie 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, plus riche en matière organique, apporte une source de carbone facilement assimilable pour certains types de microorganismes compétiteurs qui autrement détruiraient 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 DCO et d'autre part, pour 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 sont dirigés vers le réservoir de lisier brut.

Les deux biofiltres qui sont de conception identique, comprennent deux unités, soit 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 sont dirigés vers le réservoir de lisier brut. 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).

Détermination des débits des effluents du procédé

Les débits de lisier et les débits des fractions solides et liquides produites par le procédé ont été mesurés en utilisant différentes méthodes selon la position de l'effluent dans la chaîne de traitement. Les débits de lisier tamisé évacué du séparateur mécanique, de lisier tamisé alimenté au séparateur à air dissous, de lisier séparé alimenté au traitement biologique et de lisier traité évacué du traitement biologique ont été mesurés avec des débitmètres magnétiques (COPA-XE Series 10DX4311, ABB Bailey Fischer & Porter, Canada) dont les lectures ont été archivées avec un système d'acquisition de données CR10X (Campbell Scientific, USA). 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 mécanique, ont été mesurés par pesée de la matière sur une balance électronique.

Les quantités de polymères organiques de coagulation et de floculation alimentées au séparateur à air dissous ont été délibérément négligées dans la détermination des débits parce qu'ils représentent de faibles quantités, inférieures au kilogramme, alors que les volumes traités par le séparateur sont de l'ordre du mètre cube.

Pour la fraction boue évacuée du séparateur à air dissous, un échantillon prélevé dans un béccher 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 béccher et du solide flottant sur le dessus ont permis de calculer la fraction massique de solide retrouvée dans la boue du séparateur à air dissous.

Échantillonnage des effluents liquides et solides

Les campagnes d'échantillonnage ont été réalisées sur une période de trois semaines à raison d'une journée par semaine au mois de juillet 2004. Durant cette période, la masse moyenne des porcs est passée de 42 à 54 kg. Lors des trois journées d'échantillonnage, quatre échantillons de lisier ont été prélevés à une heure d'intervalle. Au total neuf points d'échantillonnage ont été retenus tout au long de la chaîne de traitement. Pour les étapes des séparations mécanique et chimique, les sept points de prélèvement ont été le lisier brut à l'entrée du séparateur mécanique, le lisier et le solide tamisés à la sortie du séparateur mécanique, le lisier tamisé à l'entrée du séparateur à air dissous, le lisier séparé à la sortie du séparateur à air dissous ainsi que le solide et le liquide décantés de la fraction boue à la sortie du séparateur à air dissous. Pour l'étape du traitement biologique, les deux points d'échantillonnage ont été le lisier séparé et le lisier traité respectivement à l'entrée et à la sortie du traitement biologique.

Le tableau 1 présente les neuf points échantillonnés et les différentes analyses réalisées. Deux groupes distincts de paramètres ont été analysés dans les échantillons liquides et solides. Les paramètres agronomiques (densité, pH, matière sèche à 105, cendres à 500, P, K, Ca, Mg, Al, B, Cu, Fe, Mn, Zn, Na, N_{total} , N-NH_4 , N-NO_3 , rapport C/N, chlorures et DCO) 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 tamisé, le solide décanté de la boue, le liquide décanté de la boue, le lisier séparé et le lisier traité.

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

Tableau 1. Registre des points échantillonnés et des analyses.

#	Point d'échantillonnage	Analyses agronomiques	Analyses biologiques	Éléments toxiques	Dioxines et furannes
1	Lisier brut	X	X	X	X
2	Lisier tamisé, sortie du séparateur mécanique	X			
3	Solide tamisé	X	X		
4	Lisier tamisé, entrée du séparateur chimique	X			
5	Lisier séparé, sortie du séparateur chimique	X		X	X
6	Solide décanté	X	X	X	X
7	Liquide décanté	X	X		
8	Lisier séparé, entrée du traitement biologique	X	X		
9	Lisier traité	X	X	X	X

Tableau 2. Débits moyens durant les essais.

Point d'échantillonnage	Débit mesuré
Solide tamisé évacué par le séparateur mécanique (kg/h)	80,2
Lisier tamisé produit par le séparateur mécanique (m ³ /h)	9,1
Lisier tamisé alimenté au séparateur à air dissous (m ³ /h)	5,8
Boue évacuée par le séparateur à air dissous (kg/h)	2977
Lisier séparé produit par le séparateur à air dissous (kg/h)	3134
Lisier séparé alimenté au traitement biologique (L/h)	522
Lisier traité produit par le traitement biologique (L/h)	350
Fraction massique du solide décanté de la boue (kg/kg)	0,325

qui sont exportées vers le milieu environnant, soit le solide décanté de la boue, le lisier séparé à la sortie 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.

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.

Les analyses des paramètres agronomiques, biologiques et des éléments toxiques ont été effectuées par le laboratoire de l'Institut de recherche et de développement en agroenvironnement inc. (IRDA). Les analyses des dioxines et des furannes ont été réalisées par le Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (CEAEQ).

Échantillonnage des gaz

Lors des trois journées d'échantillonnage, entre les périodes de prélèvement des échantillons de lisier, l'air du bâtiment a été évacué par un seul ventilateur d'extraction pour permettre l'échantillonnage des gaz. À l'exception des trappes d'entrée d'air de ventilation de l'entretoit, toutes les autres ouvertures du bâtiment ont été fermées. Le débit d'air du ventilateur d'extraction a été calculé en mesurant la vitesse de l'air 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 à l'extérieur du bâtiment.

Les échantillons de gaz ont été prélevés avec un tube en Téflon® (6,4 mm DE) et une pompe à diaphragme (DIA-VAC R222-FT-BA1, Air Dimensions, USA) qui refoulait l'échantillon dans un sac en fluorure de vinyle polymérisé (Tedlar®, ~ 25 L, Pacwill Environmental, Canada).

Les gaz mesurés étaient 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).

Résultats et discussion

Débit des effluents du système de traitement

Le tableau 2 présente des valeurs moyennes pour les trois essais de tous les débits qui ont été mesurés. En début de procédé, le séparateur mécanique a traité environ 9,1 m³ de lisier brut à l'heure alors que le séparateur à air dissous a traité environ 5,8 m³ de lisier tamisé à l'heure. Durant la période des essais, le traitement biologique fonctionnait pour traiter environ 0,52 m³ de lisier séparé à l'heure.

Selon les paramètres mesurés, les taux de fermeture des bilans du séparateur à air dissous, 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. Cela démontre aussi la pertinence d'avoir négligé les quantités de polymères organiques qui, bien qu'alimentés en solution aqueuse au séparateur à air dissous, ne causent pas de biais significatifs dans la fermeture des bilans de matière.

Les bilans autour du traitement biologique montrent 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 soient à une température supérieure à l'ambiance, que certains bassins soient agités et que des effluents soient giclés 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.

Analyses agronomiques

Le tableau 3 présente les valeurs moyennes pour les trois essais des principales caractéristiques du lisier brut alimenté au procédé et des fractions solides et

liquides issues des différentes étapes du traitement. Les résultats d'analyse de chacun des essais permettent de constater que le lisier brut traité lors de l'essai 1 était significativement différent des lisiers bruts traités durant les 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 % respectivement pour les essais 2 et 3. Cela donne une moyenne de 2,1 % pour les trois essais. Il semble que sur cette ferme, les équipements de manutention de l'eau ne sont pas dans un état optimal et ainsi des fuites d'eau sont constatées à divers endroits dans les bâtiments, ce qui entraîne de faibles taux de matière sèche dans le lisier.

Les matières sèches sont principalement concentrées dans les fractions solides avec des teneurs de 15 % pour le solide tamisé et de 7,3 % pour le solide décanté 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 ~ 6 000 mg/kg pour le solide décanté et ~ 4 000 mg/kg pour le solide tamisé. Dans les échantillons liquides, les teneurs diminuent de ~ 2 800 mg/kg à

~ 1 800 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 1 400 et 1 800 mg/kg avec les plus basses teneurs pour les échantillons prélevés après le traitement chimique. Ce qui est presque le contraire de 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 la même tendance que celle observée pour l'azote total. En effet, la concentration est maximale dans le solide décanté et le solide tamisé, avec respectivement ~ 2 000 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 les transferts de phosphore durant le traitement ne sont pas équivalents 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 décanté 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.

Tableau 3. Principales caractéristiques du lisier brut et des fractions issues du procédé de traitement.

	M.S.	M.V.	Cendre	N _{total}	N-NH ₄	N-NO ₃	P	K	DCO	C/N
	%	kg/m ³	% poids sec							
Lisier brut	2,1	990	31	2,8	1,6	0,00098	0,50	1,0	33	2,4
Lisier tamisé	2,0	1 010	31	2,8	1,7	0,00071	0,51	1,0	31	2,4
Lisier séparé	0,75	990	47	1,9	1,5	0,00061	0,12	0,94	12	1,0
Lisier traité	0,43	990	67	0,14	0,076	0,092	0,026	0,83	1,1	5,1
Solide tamisé	15	1 030	6,0	4,5	1,6	0,0021	0,76	0,73	nd	15
Solide décanté	7,3	920	20	6,4	1,9	0,0011	2,0	0,88	nd	4,6

Tableau 4. Concentration de bactéries (*E. Coli*).

	Coliformes NPP/ml
Lisier brut	347 000
Liquide séparé	61 000
Lisier séparé	9 740
Lisier traité	213
Solide tamisé	667 000
Solide décanté	598 000

Les concentrations sont maximales pour le solide décanté, plus grandes avant le traitement chimique et très faibles après le traitement biologique. 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 tamisé 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 tamisé, environ équivalent à 5 pour le solide décanté et le lisier traité et de 1 à 2 pour les autres échantillons.

La demande chimique en oxygène (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.

Analyses biologiques

Les quantités de bactéries *E. coli* retrouvées dans les échantillons sont très variables avec des valeurs jusqu'à dix fois plus grandes pour un même échantillon prélevé dans des essais différents. Cependant, tel qu'indiqué dans le tableau 4, la tendance générale montre que le solide tamisé est le plus contaminé, suivi de très près par le solide décanté et le lisier brut. Le liquide décanté est moyennement contaminé, le lisier séparé alimenté

Tableau 5. Résultats d'analyse des traces d'éléments toxiques.

	As	Cd	Cr	Co	Hg	Mo	Ni	Pb	Se
	ppm								
Lisier brut	0,030	0,006	0,108	0,104	0,003	0,222	0,206	0,019	0,089
Lisier séparé	0,005	0,001	0,019	0,025	0,005	0,013	0,050	0,005	0,002
Lisier traité	0,004	0,003	0,069	0,019	0,003	0,017	0,045	0,003	0,000
Solide décanté	0,151	0,035	0,529	0,509	0,005	1,290	0,953	0,120	0,535

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.

Analyse des traces d'éléments toxiques sélectionnés

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. Le tableau 5 présente les résultats moyens des trois essais qui sont exprimés sur une base tel que reçu. 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 sélénium.

Les éléments toxiques sont concentrés dans le solide de la boue, ce qui est prévisible puisque, tel que remarqué précédemment, le solide de la 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 floculation, les traces en éléments toxiques diminuent dans les fractions liquides du procédé qui sont destinées à l'épandage agricole.

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 6 présente la concentration totale en équivalent toxique proposé par l'OTAN en 1988 pour les quatre échantillons analysés.

Les résultats obtenus sont extrêmement faibles, un femtogramme (fg) est égal à 10⁻¹⁵ grammes. 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

Tableau 6. Concentrations de dioxines et de furannes chlorés.

	Dioxines	Furannes
	Concentration en équivalent toxique à la 2,3,7,8 T4CDD (fg/g d'échantillon tel que reçu)	
Lisier brut	3,0	0,27
Lisier séparé	0,0043	0,0013
Lisier traité	0,027	0,0039
Solide décanté	1,4	0,05

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 séparés et traités. 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 parmi 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.

Émissions gazeuses

Le débit moyen mesuré à la sortie du ventilateur d'extraction était de 2 716 m³ d'air à l'heure. Les résultats d'émissions de gaz du système de traitement sont présentés au tableau 7.

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 que la tentative de confinement des gaz du bâtiment n'était pas assez efficace, soit 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.

En posant l'hypothèse que la majeure partie des émissions de gaz provenant du procédé Sequencia survient lors du traitement biologique du lisier et que ce dernier traite environ 54 % du lisier brut alimenté au procédé, il est possible de comparer les émissions de gaz du procédé Sequencia à celles produites par une fosse d'entreposage conventionnelle. Les résultats d'émissions de gaz à effet de serre sont présentés au tableau 8. L'analyse du tableau démontre bien que les émissions de CH₄ produites sous des conditions anaérobies lors de l'entreposage conventionnel, sont remplacées par les émissions de N₂O produites par le traitement aérobie du procédé Sequencia. Au niveau des gaz à effet de serre, dont il faut tenir compte en agriculture, soit le CH₄ et le N₂O, les résultats présentés au tableau 8 permettent de constater que le système de traitement Sequencia émet autant de gaz à effet de serre qu'une fosse d'entreposage conventionnelle.

Concernant l'ammoniac, le système de traitement Sequencia émet 69,2 g NH₃/porc place-année comparativement à 484 g NH₃/porc place-année pour une fosse d'entreposage conventionnelle (Pelletier et al. 2004). Tel que démontré par Béline (2001), le traitement aérobie réduit les émissions de NH₃ mais favorise les émissions de N₂O.

Bilan massique et performance globale

Le procédé de traitement étant 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 le traitement biologique pour environ la moitié 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.

Tableau 7. Émissions de gaz du système de traitement.

Gaz mesuré	Émission g/h
CH ₄	64
CO ₂	6497
N ₂ O	125
NH ₃	18
Total carbone	1819
Total azote	54

Tableau 8. Tableau comparatif des émissions de gaz à effet de serre.

Gaz mesuré	Procédé de traitement Sequencia	Fosse d'entreposage conventionnelle*
	kg équivalent CO ₂ /porc place-année	
CH ₄	5,2	153
CO ₂	25	17
N ₂ O	149	0,0

* Source: Pelletier et al. (2004).

Ainsi, pour établir un bilan massique complet, les caractéristiques chimiques 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 1 000 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 5 présente un bilan massique moyen dans lequel les pertes sont ignorées, pour le traitement de 1 000 kg de lisier brut.

Les observations qui sont faites séparément sur les bilans et les rendements d'extraction de chacune des étapes de 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, avec les données d'analyse du tableau 3 et selon la teneur en matière sèche du lisier de départ, environ 64 % des matières sèches du lisier brut sont transférées dans les fractions solides évacuées du procédé après les étapes de séparation mécanique et chimique. De plus, avec l'ajout du traitement biologique, la chaîne de traitement peut réduire de 79 % la teneur en matière sèche du lisier.

Bien que 32 % 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 obtenir un lisier traité dans lequel 94 % de l'azote a été retiré.

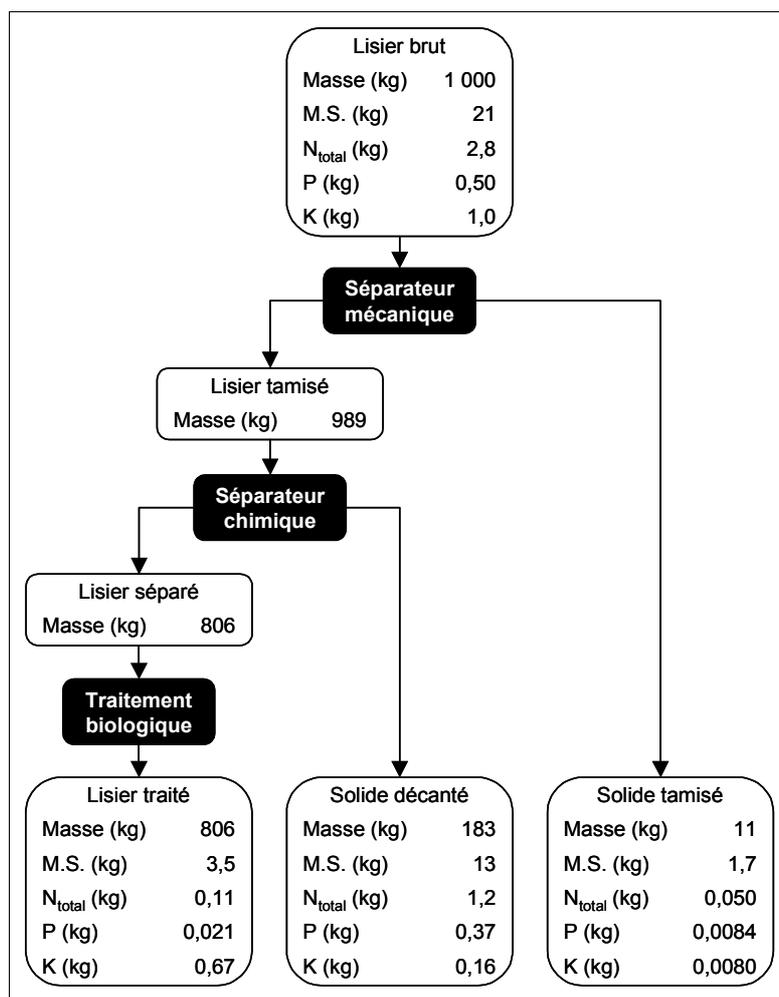


Figure 5. Bilan massique moyen du procédé Sequencia.

Les unités utilisées pour les séparations mécanique et chimique permettent de concentrer 76 % du phosphore du lisier brut dans les fractions solides du procédé. De plus, le traitement biologique permet de retirer une portion supplémentaire du phosphore du lisier pour augmenter le rendement d'enlèvement à 96 %.

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, ont permis de dresser un portrait fidèle

du cheminement des matières à travers le procédé Sequencia. De plus, les débitmètres magnétiques se sont avérés des instruments adéquats pour mesurer les débits dans les effluents de lisier de porcs même si les débits étaient intermittents, de faibles fréquences et de faibles amplitudes.

Par rapport au lisier brut alimenté en début de procédé, les étapes de séparation mécanique et chimique permettent de retirer 64 % de la matière sèche, 32 % de l'azote, 76 % du phosphore et 6 % du potassium. Toujours par rapport au lisier brut alimenté en début de procédé, le traitement biologique permet de retirer 15 % de la matière sèche, 62 % de l'azote, 20 % du phosphore et 12 % du potassium.

Finalement, le procédé Sequencia, séparation mécanique, séparation chimique et traitement biologique, permet de retirer en moyenne 79 % de la matière sèche, 94 % de l'azote, 96 % du phosphore et 18 % du potassium contenus dans le lisier brut.

En cours de traitement, la majorité du phosphore est concentrée dans la fraction solide suite aux deux étapes de séparation, tandis que la majeure partie de l'azote est transformée en espèces azotées gazeuses lors du traitement biologique. 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.

Plusieurs des autres paramètres analysés suivent des tendances de distribution semblables à celles du phosphore. Les concentrations d'éléments minéraux (calcium, magnésium, aluminium, bore, cuivre, fer, manganèse et zinc) et de bactéries (*E. coli*) sont maximales dans les fractions solides suite aux deux étapes de séparation et significativement plus faibles dans le lisier séparé et le lisier traité.

La chaîne de traitement Sequencia permet de réduire la charge organique du lisier en abaissant la demande chimique en oxygène. Elle 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

La réalisation de ce projet de recherche a été rendue possible grâce à la participation financière du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ), de l'Institut de recherche et de développement en agroenvironnement inc. (IRDA) et d'Aliments Breton inc.

Références bibliographiques

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 aérobie 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.

Béline, F., M.L. Daumer et F. Guiziou. 2004. Biological aerobic treatment of pig slurry in France: Nutrients removal efficiency and separation performances. Transactions of the ASAE. 47(3): 857-864.

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.

Larouche, J.-P., Y. Martineau, F. Pelletier et F. Léveillé. 2005. Évaluation du procédé de traitement du lisier Sequencia. Rapport de projet CORPAQ 703024. IRDA. Mai 2005. 41 p. et annexes.

LPM Technologies. 2001. Les polymères hydrosolubles : coagulation et floculation. 30 pages.

Pelletier, F., S. Godbout, A. Marquis, L.-O. Savard, J.-P. Larouche, S.P. Lemay et R. Joncas. 2004. Greenhouse gas and odor emissions from liquid swine manure storage and manure treatment facilities in Quebec. ASAE/CSAE Annual International Meeting. Ottawa, Ontario, Canada. 1^{er} au 4 août 2004. Paper No. 044158. St. Joseph, Mich.: ASAE. 17 pages.

Westerman, P.W. et J. Arogo. 2005. Performance of a pond aeration system for treating anaerobic swine lagoon effluent. Applied Engineering in Agriculture. 21(3): 505-516.

Westerman, P.W. et J.R. Bicudo. 2002. Application of mixed and aerated pond for nitrification and denitrification of flushed swine manure. Applied Engineering in Agriculture. 18(3): 351-358.

Westerman, P.W., J.R. Bicudo et A. Kantardjieff. 2000. Upflow biological aerated filters for the treatment of flushed swine manure. Bioresource Technology. 74(3): 181-190.